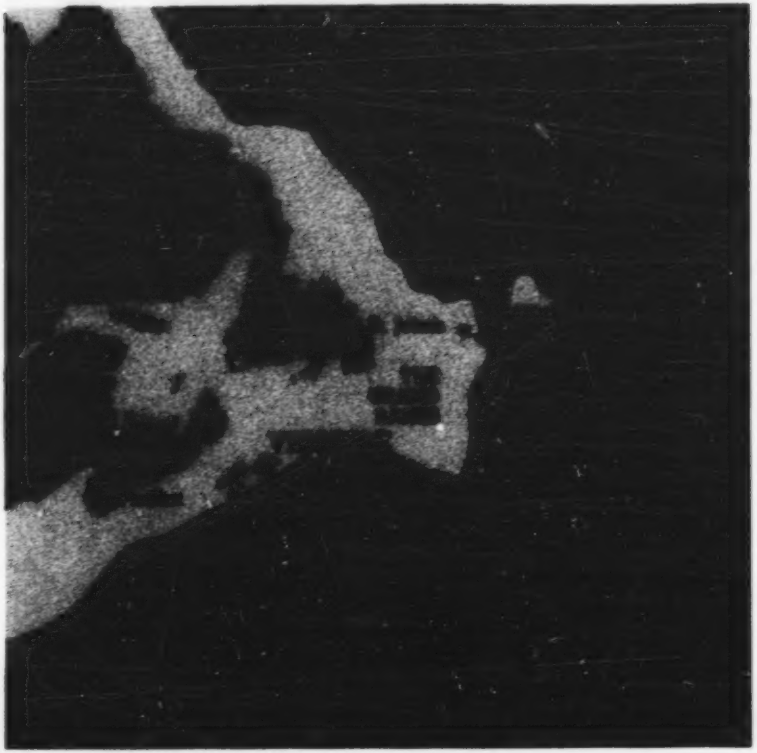
Canada

Finding the first resource of Canada's Atlantic offshore was easy — or so they said when they were back in Bristol. John Cabot's crew claimed that the fish were so numerous on the Grand Banks in the summer of 1497 that they could be caught in weighted baskets lowered from the *Matthew*.

Finding the second resource wasn't easy. The search had been on for almost 20 years and had cost almost $1 billion when in the summer of 1979 the drill of the *Glomar Atlantic* struck the oil-choked sandstones of Hibernia.

Front cover: The dynamically-positioned drillship *Neddrill 2*.
(Neddrill photo)

Back cover: The jack-up *Rowan Juneau* at work near Sable Island.
(Scott Films photo)



Stretching seaward as far as 500 kilometres from Atlantic Canada is the submerged shoulder of North America, the continental shelf. It includes The Grand Banks of Newfoundland, Sable Island Bank and the other banks that have drawn fishermen for almost five centuries.

The seafloor of the shelf is flat and lies at depths of less than 500 metres, most of it less than 200 metres. It is covered by sand and mud, except where tides and currents are strong enough to sweep the bedrock clean.

Beyond the shelf are the continental slope and the continental rise. The three zones form what is called the continental margin.

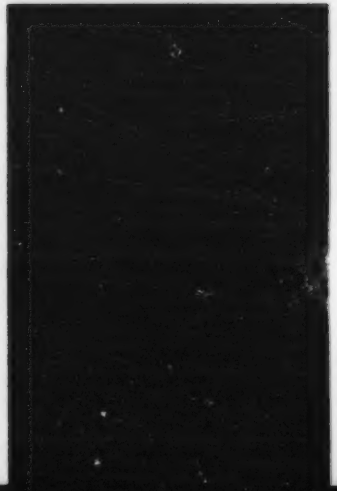
Canada's Atlantic continental margin covers an area of almost 2.5 million square kilometres. It meets the muddy plains of the North Atlantic at distances as far as 1000 kilometres from the coast and at depths of more than 4 kilometres.

Phytoplankton are the "grass" of the sea. Taking their energy from sunlight and their nourishment from the minerals dissolved in seawater, these tiny floating plants are the basic food that supports the chain of sea life.

In spring, when their numbers reach a peak, there can be 20 million organisms in a litre of seawater.

At right, three of the many plankton of the Atlantic coast. In the spring "bloom" of phytoplankton, the numbers of **Chaetoceros** (top) reach their peak first, followed by **Thalassiothrix** (bottom left) and **Dinophysis** (bottom right). (*Bedford Institute photos*)

These organisms have an essential role in the fishery of Atlantic Canada. Their ancestors in the fertile sea of long ago had an essential role in the oil of Atlantic Canada.

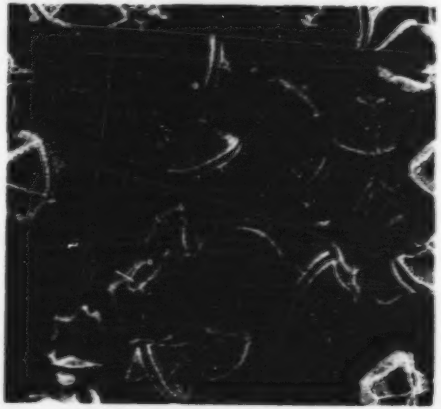


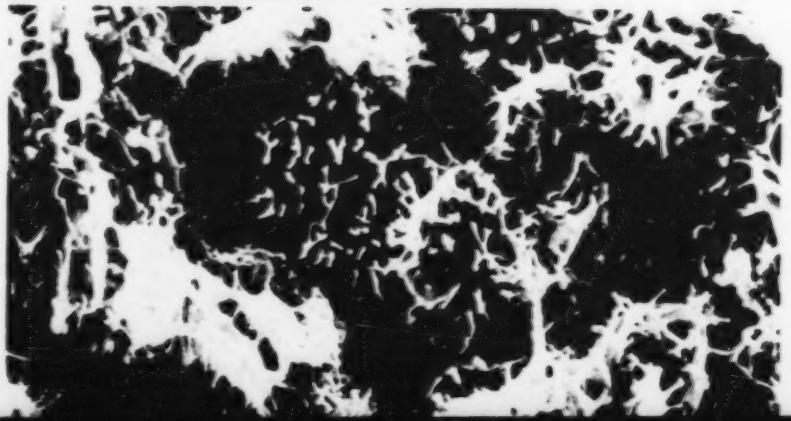
Making oil and gas

Mix your organic material

When the dinosaurs were roaming North America, life in the sea resembled life in the sea today. Although most of the animals and plants in the oceans at that time have since become extinct, they have been replaced by organisms of similar shapes and sizes. Then, as now, all sealife was based on the one-celled floating plants that need only sunlight, oxygen and nutrient salts to grow and multiply.

Each of the plants, and each of the animals that ate the plants, contained small quantities of lipids, natural oils that are one of the building blocks of life. We can't say for sure that these lipids were the source of the oil being found today, but we can say that there's a connection between the life of 150 million years ago and the petroleum of Canada's Atlantic offshore.





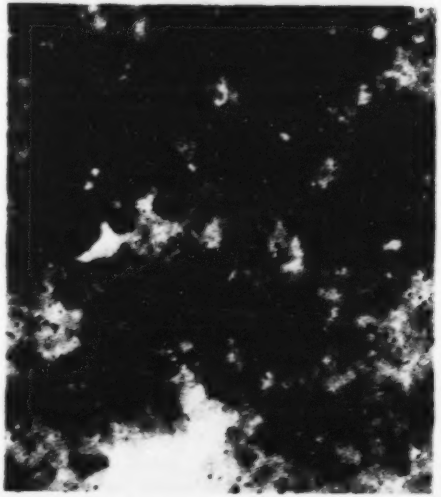
Modern plankton **Gonyaulax** (top), magnified approximately 250 times by an electron microscope. (*Bedford Institute photo*)

Fossil plankton **Apectodinium** (bottom), possibly an ancestor of the modern plankton. These fossils (an estimated 20 are in photo) were found in shale samples recovered from a depth of 970 metres in a well drilled in the Atlantic continental shelf. Magnified approximately 425 times.
(*Bedford Institute photo*)

At that time the rivers of eastern Canada were carrying heavy loads of sediment down to the sea. Bits of the leaves and stems of land plants were also swept along, and were settling to the seafloor, accompanied by the bodies of animals and plants that had lived out their lives in the sea.

Much of the organic material rotted in the same way that it rots on land. Rotting requires oxygen, and in the surface layers of the ocean oxygen is usually plentiful. But the organic material that settled in water without dissolved oxygen underwent a different decay process with different chemical reactions.

Along the continental margin, thick deposits of sand and mud were accumulating. The ancestral St. Lawrence River was dropping heavy loads off the coasts of Nova Scotia and Newfoundland.



Typical organic material of marine (oceanic) origin in rocks of the Atlantic continental shelf. Most of it consists of degraded remains of plankton. Under the right conditions, oil can be made from this mixture. Magnified 300 times. (*Bedford Institute photo*)

Typical organic material of land origin from the rocks of the Atlantic continental shelf. Most of the material consists of fragments of land plants that were washed into the sea. Ribbed fragments came from plant stems. Under the right conditions, natural gas can be made from this mixture. Researchers suspect that the black specks are charcoal made by forest fires millions of years ago and washed into the sea. Magnified 300 times. (*Bedford Institute photo*)

The organic material made up only a fraction of the volume of these sediments, but its presence in this oxygen-deficient environment satisfied the first of four requirements for the making of oil and gas fields.

Cook it, but not too much

As time passed and the deposits grew in thickness, the lower levels of the sands and muds began to consolidate, i.e. to become cemented into sandstones and shales. Also, as they were separated from the cooling effect of seawater by more and more blankets of sediment, their temperatures increased. In some locations this increase was enough for what geologists called "cooking" — the making of oil and natural gas from organic material. This was the second of the essential conditions for the making of oil and gas fields.

Some rocks produced more gas than oil, others more oil than gas. The proportions were determined by the cooking and the mix of organic material. In general, a little cooking produced gas, more cooking produced oil, while still more cooking produced gas again. Also, in general, organic material that originated on land was more likely to produce gas, while organic material that originated in the ocean was more likely to produce oil.

The oil at the Hibernia discovery on the Grand Banks originated in rocks whose organic material was mostly of oceanic origin — the plankton that were the ancestors of the plankton on the Banks today. The gas at the Venture discovery near Sable Island originated in rocks whose organic material consisted mostly of fragments of land plants.

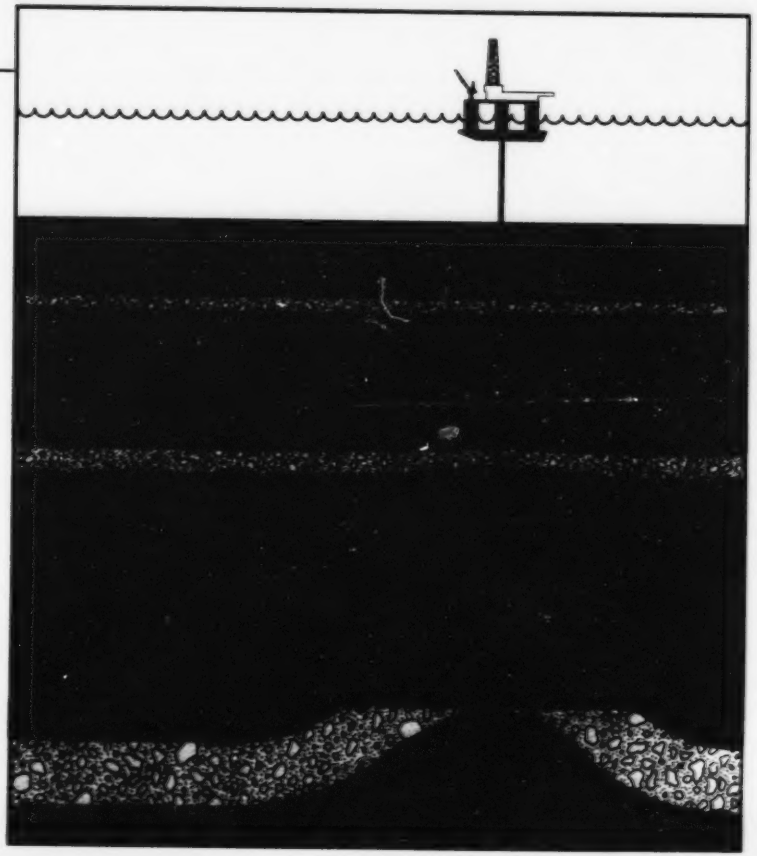
The coal of Nova Scotia, New Brunswick and Newfoundland is also of plant origin. But it came from plants that weren't broken up and washed into the sea. The plants grew, died and accumulated in the swamps of 290 million years ago. These deposits first became peat, and after being buried deep under later sediments, they became coal.

Let it rise

Because oil and natural gas are fluids, pressure may force them to move, usually toward the surface. Movement may be difficult in rocks with small spaces between the grains and no cracks, but in rocks with lots of space between the grains and lots of cracks it may be easy. If the gas and oil doesn't gather in a rock from which it can easily flow, it can't be recovered by drilling.

This kind of rock is called a reservoir. It is the third essential condition for the making of oil and gas fields. In the rocks of the Atlantic offshore, the thick sandstones deposited in the days of the dinosaurs are excellent reservoirs.

You might think that it would be handy to have the reservoir at the surface where it can be easily drilled. But if it were at the surface, the oil and gas would have escaped and been dispersed in the sea. This is one of the relentless processes of the earth's crust — oil and gas made at depth are slowly escaping and being dispersed.



Oil in a trap. Its escape upwards from sandstone reservoir (yellow) is prevented by a seal of densely packed shale (grey).

But not too far

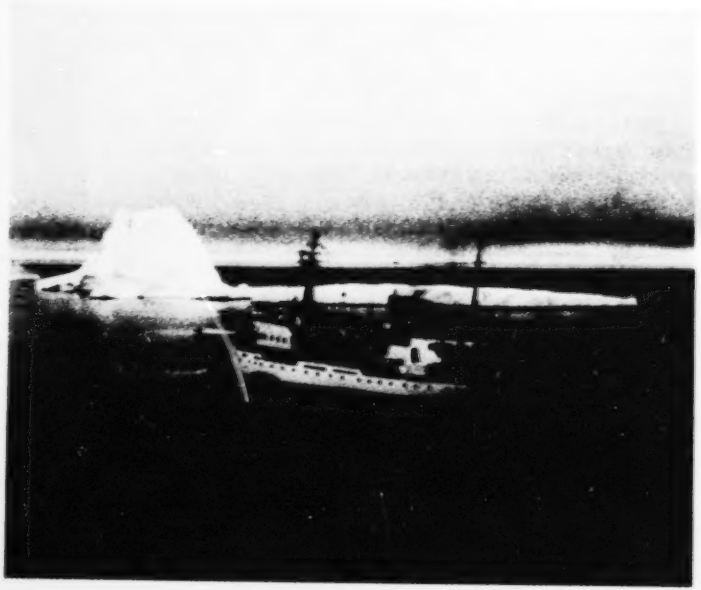
The escape of the oil and natural gas is prevented only if the top of the reservoir is sealed by a layer of rock that resists the passage of fluids. This seal is the fourth essential condition for the making of a field.

In the thick deposits of sandstone and shale of the Atlantic offshore the shale sometimes provides a seal for the sandstones. But only under special circumstances.

Most of the oil and gas has probably been able to find its way around the edges of the shale or through cracks in the shale. Only when the shale beds have been arched to form a blanket or dome over the sandstone reservoir has the shale been able to trap the oil and gas. These domes or blankets can be compared to upside-down bowls; they catch the rising oil and gas in the same way that a bowl catches falling rain.

Geologists use the word "trap" for the combination of a reservoir rock with an upper surface that is domed or ridged and a sealing rock that keeps the oil and gas in a "pool" that fills the cracks and spaces between the grains at the top of the reservoir. All oil and gas exploration starts with a search for traps.

The Bedford Institute of Oceanography in Dartmouth Nova Scotia is the largest of the federal government's ocean research centres. Founded in 1962, the Institute brings together the marine scientists, hydrographic surveyors, technical staff and ships that are necessary for large-scale programs.



The Bedford Institutes **Hudson** (in photo) and the **Baffin** are more capable of long-range deep-ocean research than the vessels operated by any country except the USSR. (*Bedford Institute photo*)

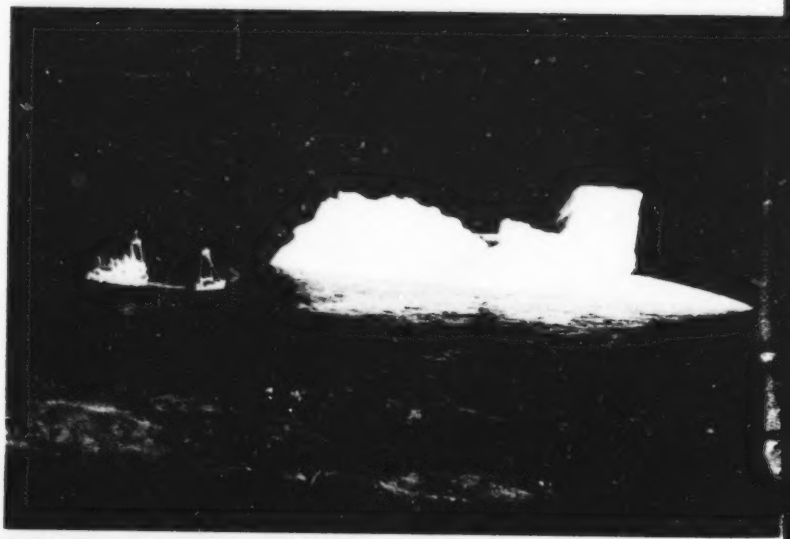
Fog and ice, cod and oil

It's cold

In the Atlantic offshore, the petroleum industry must cope with conditions that are among the worst in the world. Although geological conditions under the seafloor in the Sable Island area resemble the conditions of the Louisiana offshore, working conditions at sea level are worlds apart. Even admitting the danger of hurricanes in the Gulf of Mexico, it's a mill-pond compared with the North Atlantic.

When people in the oil industry think of harsh conditions they usually think of the North Sea, where the industry has faced cold weather, high seas and frequent storms. Conditions on the Grand Banks are worse than in the North Sea. Storms are three times as frequent. Sea temperatures average six degrees lower. Air temperatures are five degrees lower on average over the year with the result that the air temperature is below freezing 55 per cent of the time on the Grand Banks. In the North Sea, the air temperature is below freezing only 5 per cent of the time.

To single out just one effect of this temperature difference, anyone working on the Grand Banks during the cold months must be prepared for ice buildup caused by freezing spray. Generations of fishermen have had to deal with this problem, but the old solution of breaking ice from the rigging with mallets is dangerous and difficult. And freezing spray is just the beginning of the ice problems.

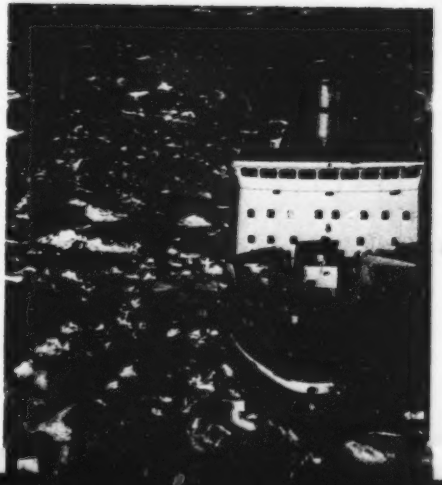


Small iceberg near St. John's. When they're the size of a small house they're called bergy bits; when the size of a grand piano they're called growlers. (*photo Bazeley, C-CORE*)

The Grand Banks area has two ice hazards that never occur in the North Sea — pack ice and icebergs.

Pack ice blocks the Gulf of St. Lawrence and the Labrador coast in winter and can interfere with shipping in spring. On the Grand Banks there are years when pack ice is not a problem. But in other years ice floes are frequent; in 1973 ice covered the Hibernia area of the Banks from early January until late May.

Icebergs are hazards to shipping mainly in spring and summer, from the eastern side of the Arctic islands to the southeastern edge of the Grand Banks and occasionally farther south. The yearly average for icebergs reaching the Banks is 260, but in a bad year there may be 1600. Small wonder the Labrador Sea is called "Iceberg Alley". In one six-week period, the radar on a drillship operating off the Labrador coast picked up 391 icebergs within its 24-kilometre radius.



Drillship **Pacnorse 1** (above) in Labrador Sea. In the thickest fog, you can't see the bow from the bridge. (*Petro-Canada photo*)

Breaking ice from the **CSS Dawson** (top left) (*Bedford Institute photo*)

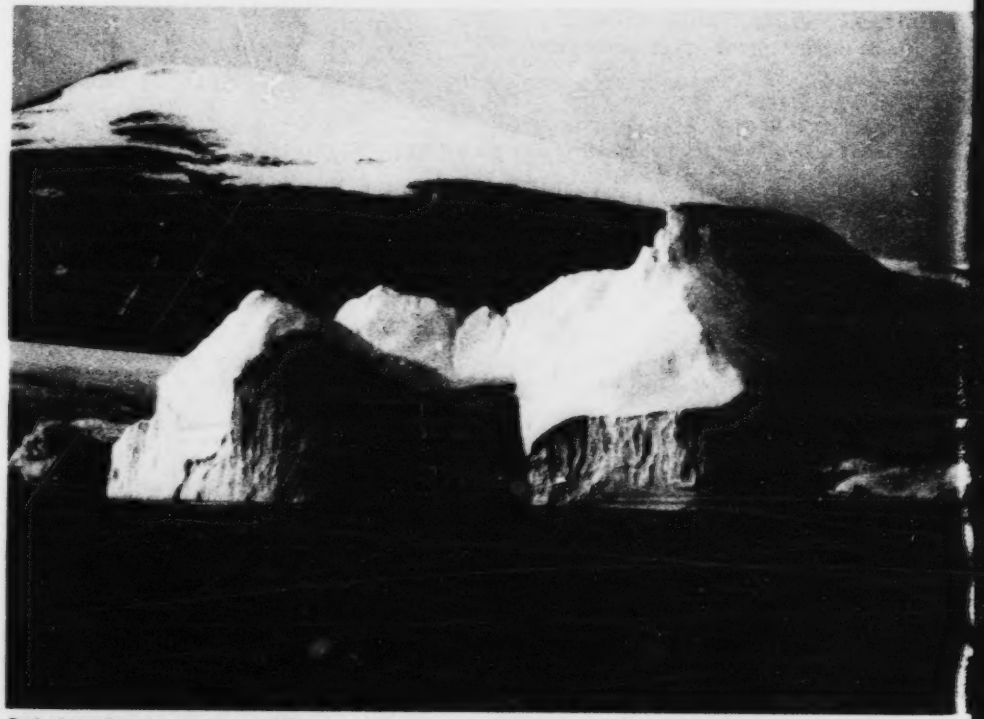
Canadian Coast Guard icebreaker **Radisson**, (lower left) based in Québec City. (*Transport Canada photo*)

It's icy

Broken from the Greenland glaciers, these immense blocks of ice are preserved and transported by the cold currents of Baffin Bay and the Labrador Sea. While a small branch of the Labrador Current takes some icebergs into the Gulf of St. Lawrence, and another small branch takes some bergs within a few kilometres of St. John's, most bergs are swept around the eastern flank of the Grand Banks by the main branch of the current.

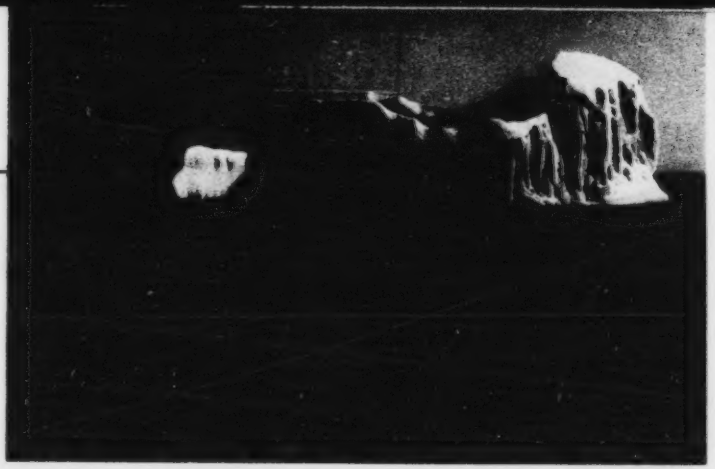
It's here that the Labrador Current collides with the warmer waters of the Gulf Stream and icebergs that may have been drifting for three years finally melt away.

Although winds on the part of the berg that is above water (its sail) may influence the direction in which it drifts, currents on the much larger area that is underwater (its keel) are usually the stronger influence. The keels of the larger bergs may reach depths of 200 metres or more, but the height of their sails is usually less than a third of the depth of their keels.



Peak of giant berg is approximately 130 metres above sea level—higher than a 35-storey building. Keel of berg is probably more than 500 metres under water. Greenland ice cap, source of the berg, is on horizon. (*Bedford Institute photo*)

If a berg drifts aground on an area of the continental shelf that's covered with sand or mud, the keel leaves a mark. If a berg is dragged over the shelf, the keel leaves a furrow. After thousands of years of exposure to drifting icebergs, parts of the shelf off Newfoundland and Labrador have been repeatedly furrowed. Until recently the marks and furrows were only curiosities, but now they are being carefully studied in order to estimate the danger of icebergs to seafloor wellheads and pipelines.



Drifting icebergs endanger drillships in the Labrador Sea. Supply vessels lasso some bergs and divert them. (*Engineering, Memorial University photo*)

Sonograph provides a crude picture of the seafloor in 166 metres of water on Saglek Bank in the Labrador Sea. Iceberg keels have made marks and furrows as deep as 3 metres in the clay and silt. Depths of up to 17 metres have been reported. (*Bedford Institute photo*)

It's an unlikely spot for a garden of the sea

To man, accustomed to the cycle of life on land, the productivity of the Atlantic offshore is startling. These waters, so often hostile to those who must remain on the surface, are gardens of life.

The first links in the chain of life are the plant plankton (phytoplankton). These microscopic one-celled plants obtain their energy from sunlight and use the mineral nutrients dissolved in seawater for growth and reproduction. Twice a year, in spring and fall, they get an abundance of what they need. Particularly in the spring, the growth in numbers can be explosive. The plankton are said to "bloom", and the bloom may produce 20 million organisms in a litre of water. The sea may change colour (to green or brown) and seawater may be slimy to touch.

The spring bloom of the Atlantic offshore begins in late April or early May. It lasts 20 days at most. The first population explosion occurs among the numerous species of the plankton group called the diatoms, followed by the species of the dinoflagellate group.

Under ideal conditions, the plant plankton would smother the earth with their progeny in a matter of weeks. Luckily, ideal conditions never last that long. The growth in numbers is limited by the amounts of nutrients in the surface layers of the sea where sunlight can penetrate.

The dissolved nutrients are brought to the surface waters by the rivers flowing off the land and by the currents, tides

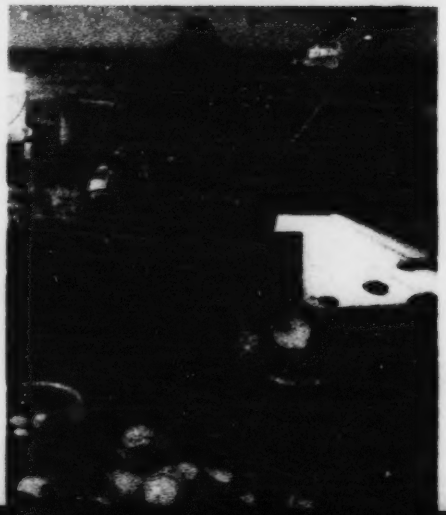
The seafloor near Hibernia. Starfish, sand dollars (5 centimetre diameter), worm burrows and shell debris. (*Bedford Institute photo*)

Surveillance of foreign fishing vessels on the Grand Banks from a Canadian Forces Sea King helicopter. (*Scott Films photo*)

and waves that swirl them up from the seafloor. But when conditions for plankton reproduction are good, the plankton use the nutrients faster than they are provided. The bloom runs out of some of its essentials, the rate of reproduction drastically declines, and most of the plant plankton die off.

Feeding on the plant plankton the year round are a host of tiny animal plankton (zooplankton), the most numerous of which are the copepods, small relatives of the shrimps and lobsters. Feeding on the copepods are the smaller fish, the best known of which is the herring. And feeding on the smaller fish are the larger fish — notably cod — that sustain the fishery.

The chain of life in the Atlantic 150 million years ago provided the oil for which the offshore rigs are searching today. The chain of life 500 years ago provided the cod that tempted European fishermen to cross the ocean in small wooden ships. Most of the fishermen are now Canadians, and in the offshore the days of small wooden ships are over, but



the fertile waters are just as valuable today as in John Cabot's time. The chain of life must be protected.

During the exploration phase, the first phase of oil and gas activity in the offshore, the petroleum industry and the fishery have learned to live together.

As the next phase approaches, the phase of constructing production facilities and bringing the petroleum ashore, the federal government has adopted new legislation for the regulation of oil and gas in the Canada Lands of the offshore and the North. The new legislation drew from our experience and from the experiences of other countries where petroleum production and the fishery have resolved conflicts.

Inshore fishermen at cod trap off Torbay, Newfoundland (top). (*Fisheries and Oceans photo*)

Inshore fisherman from Tracadie, New Brunswick shucks scallops (bottom). (*Fisheries and Oceans photo*)

The *Oil and Gas Production and Conservation Act*, which was amended in 1981 when Parliament passed the *Canada Oil and Gas Act*, provides environmental protection measures that are as good as any in the world. The first objective of the Canadian legislation is to prevent accidents, but there are also strict requirements for the clean-up of oil spills and debris and the payment of damages.

All companies drilling in the offshore have been required to post a $30 million bond as a guarantee to pay promptly for damages from a spill or blow-out without proof of negligence. The companies are also required to remove debris from the seafloor. If they don't, and if fishing gear or nets are damaged by the debris, the legislation provides for compensation and clears the way for out-of-court settlements.

Minor disruptions to the fishery are unavoidable. Trawlers and oil rigs can't work in the same place at the same time. Sometimes there is competition between the two industries for experienced employees, for onshore accommodations and for wharf space. But federal and provincial governments are committed to the development of both industries with minimal disruption.

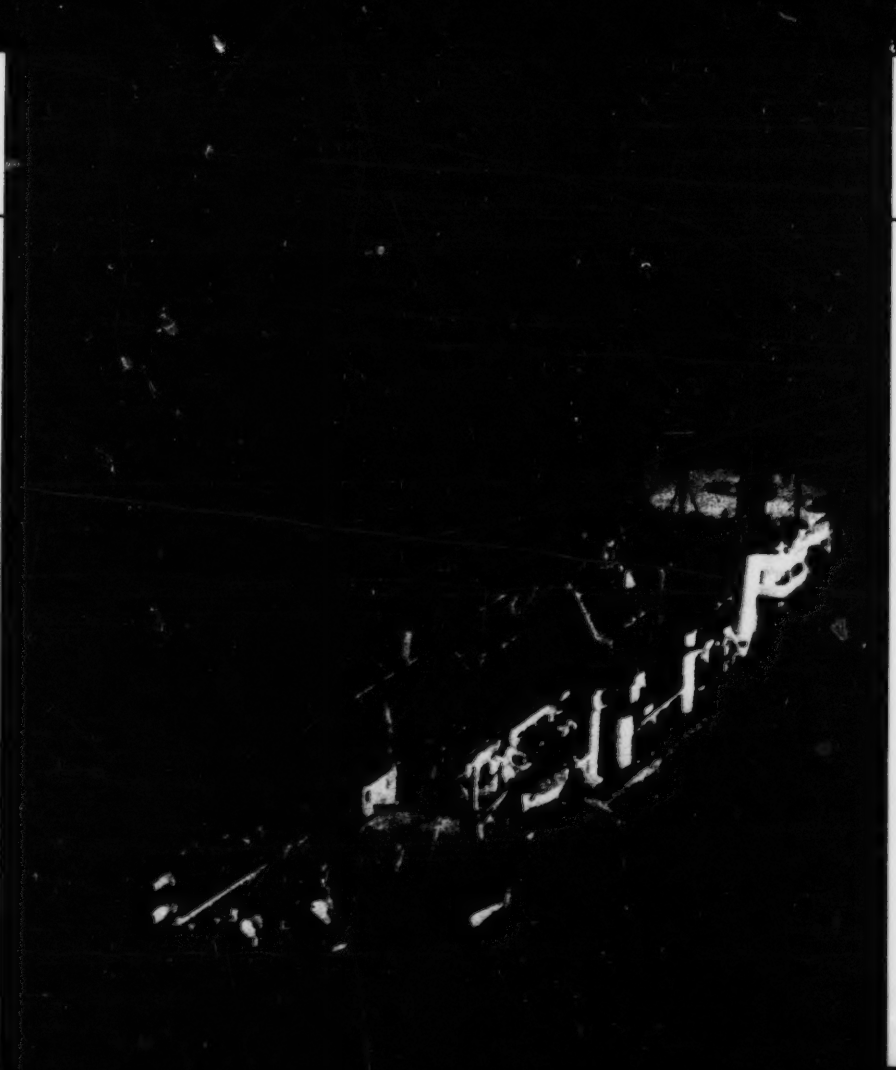
And there are many ways the petroleum industry helps the fishery and fishermen. More aircraft and vessels in the offshore provide a better search and rescue network. Weather information gathered by the oil and gas industry helps to provide more accurate forecasts. And the research on sea conditions and sea life that is required by legislation before petroleum production begins is providing a vast archive of data that is already helping the management of Canada's oceans and fish stocks.

Offshore fishing—**Cape La Have** out of Lunenburg, Nova Scotia on the Grand Banks in winter. (*Fisheries and Oceans photos*)

The long search

The first permits for the Atlantic offshore were granted by the federal government in 1960. At that time we knew next to nothing about the geology of the continental margin. In return for exclusive rights to produce and sell the petroleum found in lands under permit to them, the oil companies were required to explore and to increase the amount of exploration every year. If they failed to explore, the permits could be revoked.

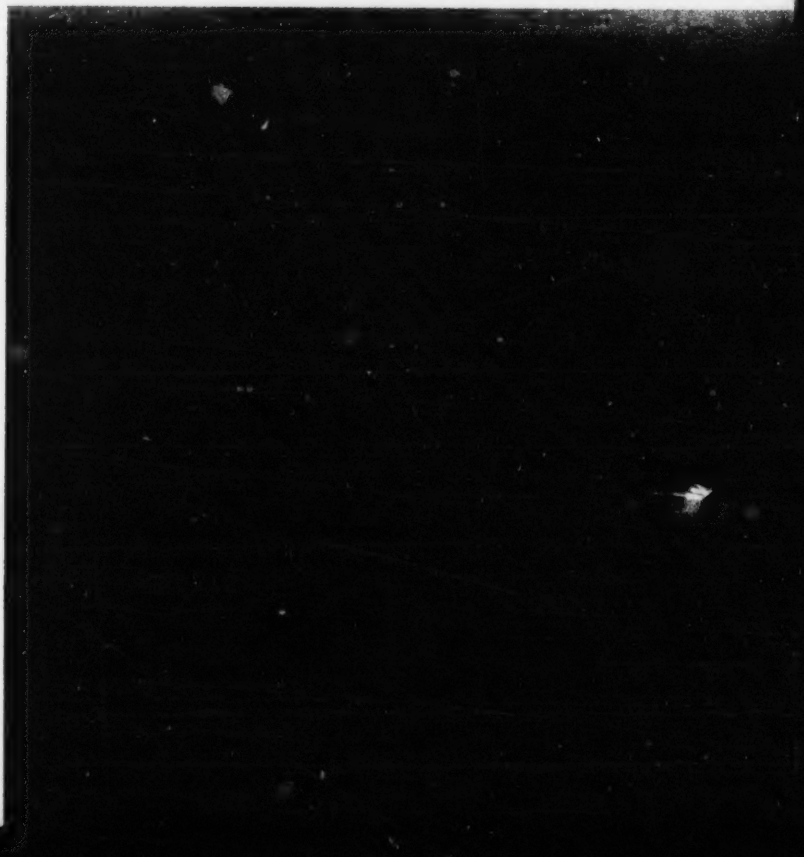
The permit system was successful in encouraging the companies to make a first assessment of the petroleum potential. Over the next 15 years, permits were granted for more than 1.3 million square kilometres. Some of these lands were as far as 720 kilometres from the coast and in water depths as great as 4 kilometres. After preliminary exploration, the petroleum industry gave up two thirds of its permits and concentrated on the more promising areas.



Hibernia discoverer, the drillship **Glomar Atlantic**.
(*Chevron Standard photo*)

The first seismic surveys were conducted in 1960 by Mobil Oil Canada in the Sable Island area. Seismic surveys are the most useful of the petroleum industry's remote exploration tools. Using a technique similar to sonar, the seismic instruments record echoes from subsurface rock layers to provide a rough sketch of rock structures at depth. Seismic surveys can't pinpoint oil and gas accumulations, but they can reveal structures that might be traps. Only drilling reveals the full story.

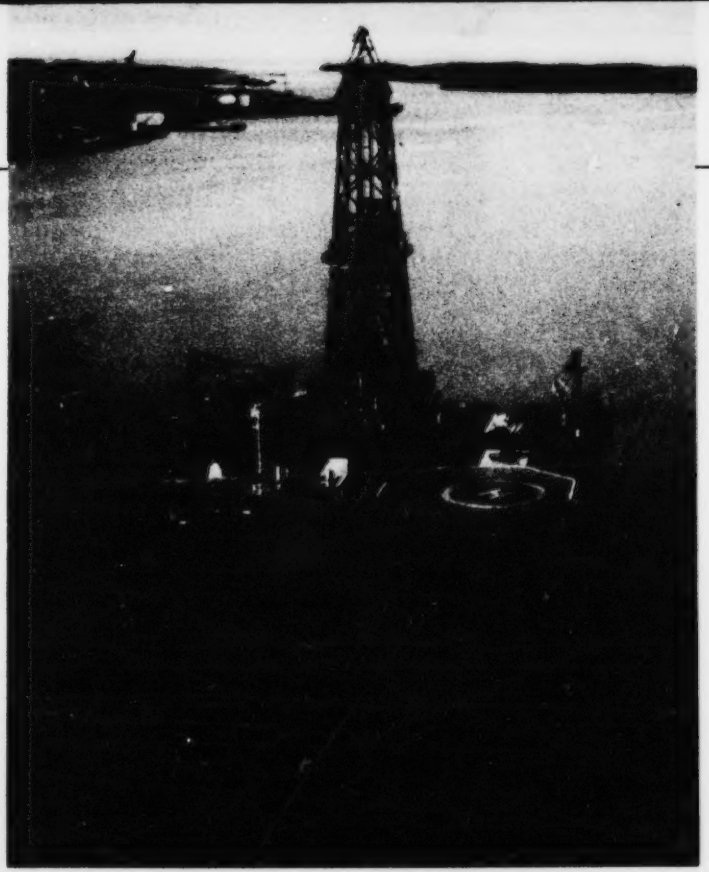
Offshore drilling began in 1966 when Amoco Canada drilled two wells on the Grand Banks. They were the first of many disappointments. With the exception of a small discovery in 1973, the first 40 wells on the Grand Banks were dry. The best offshore drilling rig for the Banks has been the semi-submersible, a design that is particularly stable in high seas. Taking most of its buoyancy from its underwater pontoons, the semi-submersible floats *in* the water rather than *on* the water. Three semi-submersibles of the Sedco H type, built in the Halifax shipyards, accounted for more than half of the first 150 wells to be drilled in the Atlantic offshore. The *Sedco 709*, also built in Halifax, was the world's first dynamically-positioned semi-submersible; it can maintain its position over a well in spite of currents and winds, without anchors, by means of a computer-directed system of thrusters. The first Canadian-owned semi-submersible was purchased in 1981 and named the *Bow Drill 1*.



Semi-submersible **Zapata Ugland** drilling on the Grand Banks. (*Scott Films photo*)

The first well to discover a major oilfield in the Atlantic offshore was begun by a drillship and completed by a semi-submersible. The *Glomar Atlantic* drilled Hibernia P-15 in 1979. The tests for oil in the well were done later that year from the *Zapata Ugland*. On the northeastern edge of the Grand Banks, 320 kilometres from St. John's, the well was drilled in 80 metres of water to a total depth of 4407 metres. Light crude oil was found in three sandstone zones. Although the Hibernia discovery was made by Chevron Standard, the lands are under permit to Mobil Oil Canada. Mobil is in charge of operations in the field, with four partners including Chevron Standard and Petro-Canada.

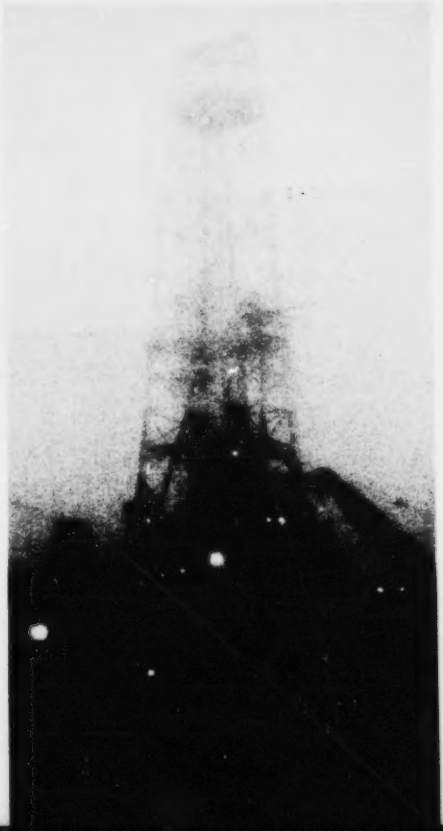
In spite of the obvious ice hazards and a short drilling season, interest in exploration in the Labrador Sea was high, and it was encouraged in the early 1970s by several small gas discoveries. The first well off Labrador was drilled by the drillship *Typhoon* in 1971. In the late summer, with just a few days left in the drilling season, an iceberg drifted toward the ship. The crew of the drillship prepared to hoist anchors and move off the well to escape a collision. They were relieved to see the unpredictable berg drift past the ship. But then it changed direction and once more bore down on the *Typhoon*. This time they had to yield. The well was plugged, some anchors were hoisted but some anchor lines had to be cut. There wasn't enough time left in the season to re-anchor and re-enter the well. Two years later, drilling was resumed by the *Pélican*, the first of the dynamically-positioned drillships.



Bow Drill 1, the first Canadian-owned semi-submersible, in Halifax harbour. (*Bow Valley photo*)

Developed in France with an eye to the special conditions of Iceberg Alley, dynamically-positioned drillships are able to move off wells quickly when icebergs approach and to resume drilling soon after the danger has passed. Because the drilling season is only three months long, the companies operating off Labrador quickly adopted the dynamically-positioned drillship as the preferred drilling rig. They are expensive to operate, but they save time. Support vessels also save drilling time by pushing the smaller bergs away fom the rigs, they even lasso bergs and divert them by towing. But some bergs are too big for easy towing, and sometimes there are too many to tow. In an average season, one third of the drillships in the Labrador Sea have to dodge a berg.

The story of drilling off Nova Scotia began with considerable excitement. The first offshore well in the Sable Island area, Shell Oil's Onondaga E-84, found gas. And Sable Island E-48, drilled by Mobil and partners on the western tip of the island in 1971, found gas and some oil in quantities that seemed sufficient for production. News of the discovery caused a minor sensation, but the next seven wells revealed that E-48 had found a leaky trap, and reserves were not sufficient for production.



In 1979, the same year as the Hibernia discovery, the jack-up rig *Gulftide* chartered by Mobil drilled Venture D-23. Twelve kilometres off the eastern tip of the Sable Island, this well provided the first confirmed evidence that gas could be produced from the Sable Island area. Drilled in 20 metres of water, the well found gas in sandstones at depths up to 4954 metres.

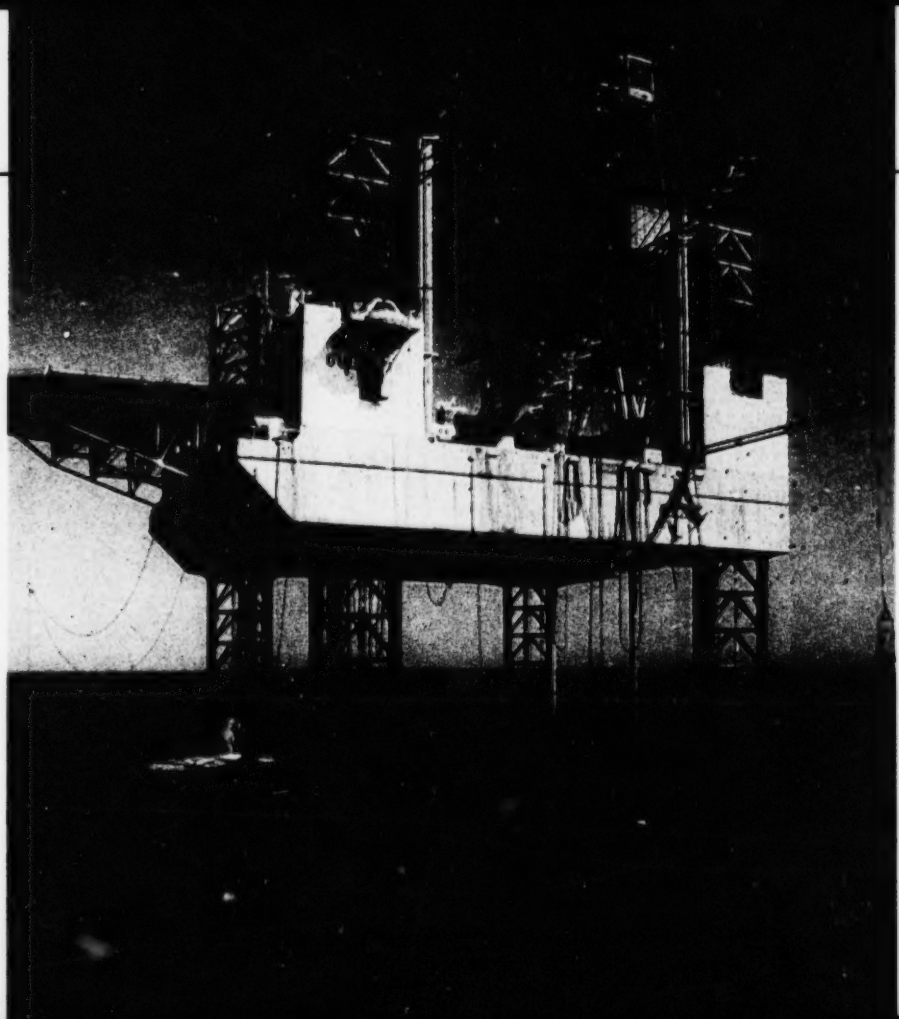
Jack-up rigs, unlike drillships and semi-submersibles, don't float (except when moving from well to well). A jack-up is basically a drilling barge with legs that can be cranked down to the seafloor. Once the legs are firmly in place, the barge can be jacked up on the legs to provide a stable drilling

Dynamically-positioned drillship **Pacnorse 1** in Labrador Sea in fog. (*Petro-Canada photo*)

platform above the waves. Although they are cheaper than drillships and semi-submersibles, jack-ups are not suited to deep water, nor to ice, and their use has been restricted to the Gulf of St. Lawrence and the shallow waters near Sable Island.

In the severe conditions of the Atlantic offshore, only the toughest of the world's offshore rigs can be used. More than handling heavy weather and ice and shifting sands, the rigs have to handle deep-drilling hardware. Their derricks have to hoist a string of drillpipe that is more than five kilometres long. Some of the rigs have hoisted strings of pipe weighing more than 350 000 kilograms — equivalent to the weight of 300 automobiles — and they have done it at sea.

After more than 15 years during which the petroleum industry operated successfully in Atlantic offshore conditions, the semi-submersible *Ocean Ranger* and her crew of 84 were lost in a storm on the morning of February 15, 1982.



Jack-up **Gulftide** drilled Venture discovery near Sable Island. (*Mobil photo*)

The technology of offshore drilling is relatively new, and there has been a very rapid evolution of this technology since the 1950s, when the search for offshore oil was confined to relatively shallow waters.

The rig was the biggest in the world, chosen because conditions on the Grand Banks are among the worst in the world. The stunning and sudden tragedy showed that there is still a great deal to be learned about operating in the severe Atlantic offshore conditions. It indicated the need for caution and extreme vigilance in all further offshore development activity.

A broad re-examination of the techniques and safeguards of offshore development was initiated, with the participation of governments and industry. Thorough examination of all aspects of the sinking may provide a new understanding of the challenges both technology and people must face in the offshore. To the fullest extent possible, the painful lessons learned from the *Ocean Ranger* must be used to provide greater security for those who continue the work.

The federal legislation that provides the framework for petroleum exploration and production on Canada Lands took a big step forward with the passage of the *Canada Oil and Gas Act* and the amendments to the *Oil and Gas Production and Conservation Act*. At the same time the government established the Canada Oil and Gas Lands Administration (COGLA) to administer the legislation.

The new legislation has given government more control over the pace of the industry's search for oil and gas. It also emphasizes Canadian participation. Under the previous legislation, Canadian participation hadn't been high, although the federal government had contributed more than half the cost of exploration in the Atlantic offshore through tax deductions to oil companies and investors.

The former legislation was appropriate at a time when Canadians wanted to know if the offshore held oil or gas, but didn't have the experience or the tools to do the job. If we had restricted the import of the best technology, the assessment of the resource would have been delayed. Now we have some experience, we're getting the tools, we know there's energy in the offshore and we can plan to take advantage of opportunities for Canadian participation.

The new legislation requires at least 50 per cent Canadian ownership of production from the Atlantic offshore and other Canada Lands. It also requires companies to submit procurement plans so that Canadian companies can compete fully for the supply of goods and services. And it requires the companies to prepare detailed manpower plans so that Canadian workers can take advantage of opportunities in the expanding fields of offshore petroleum and ocean industries.

Getting it ashore

In the 1980s we know much more about the petroleum of the Atlantic offshore than we knew in the 1960s when exploration began. After many disappointments, we've had some good news. But we're still in the preliminary stage of discovering the oil and gas fields. And even for the fields already discovered we don't yet have all the answers about how they will be developed and how the oil and gas will be brought ashore.

The development of offshore fields involves three major stages: the drilling of production wells, the installation of production equipment that brings the petroleum to the surface and removes impurities, and the installation of a transportation system to take the gas to markets and the crude oil to refineries.

Production in the Canadian offshore will require a selection of the most recent methods and the toughest tools that have been developed in other hostile environments. And it will require new methods and tools for unique conditions.

The construction of production facilities will be the largest project ever undertaken in Atlantic Canada. The challenges for designers, engineers, project managers, supply firms, manufacturers and shipyards will be immense.

By looking at the way in which other offshore fields have been developed, we can get an idea of the range of production options that may be chosen here. But we have to remember that for most of the Atlantic offshore, no wellhead installation, no production installation and no transportation system can even be considered if it can't cope with ice.

Night view of Frigg's steel accommodations platform and supply vessel. Frigg platforms stand in 100 metres of water. (*Elf Aquitaine photo*)

How they do it at Frigg

Frigg, a giant gas field that straddles the boundary between the Norwegian and British sectors of the North Sea, was developed at a cost of more than $3 billion. In 1977, six years after its discovery, the first gas from Frigg's reserves of 270 billion cubic metres reached shore. At full flow, the field supplies about 5 per cent of the energy needs of the United Kingdom.

Two main types of production platforms have been used in the North Sea. Frigg has two steel platforms and three concrete platforms. Accommodations for the crew are supported on a steel platform. If it stood on land where the whole platform could be seen, this platform would resemble an electrical transmission tower as high as a 33-storey building with a hotel perched on top. And on top of the hotel is a heliport and a communications mast. One of the Frigg drilling platforms is also supported by steel; there is more steel in this frame than in the Eiffel Tower.

The Frigg field. Steel accommodations platform (right) connects by bridge to treatment platform supported by two concrete legs (left). Just behind these legs can be seen the three legs that support the other treatment platform. (*Elf Aquitaine photo*)

More than 90 per cent of the world's offshore petroleum platforms are supported by similar steel skeletons, usually called jackets. The jackets are held in place by piles in the seafloor.

The other major platform type, the concrete platform, was developed for the North Sea fields. Weighing 20 times more than steel platforms (and costing more than three times as much), they don't need to be fastened to the seafloor; their own weight keeps them in place, and for this reason they are usually called concrete gravity platforms. While steel platforms support the weight of their above-water facilities on steel skeletons, concrete platforms support the weight on clusters of concrete silos or cells. Some of the cells are bigger than others, some are higher than others, some rest on the seafloor, some reach above water, some are filled with air, some are filled with water, and some are used to store oil.

The two treatment platforms and one of the drilling platforms at Frigg are concrete. The concrete drilling platform resembles a giant tower fortress, but in fact it is made up of a number of concrete silos and cells. The treatment platforms consist of a cluster of concrete silos, sprouting tall, hollow concrete legs that reach above water and support several levels of decks containing the treatment equipment.

Some of the impurities in the natural gas that flows up from the Frigg wells are removed on the drilling platforms, the remainder are removed on the treatment platforms. Pipelines take the gas from the treatment platforms to Scotland, a distance of 360 kilometres. The pipelines are buried in the sand and mud of the seafloor and are further protected against damage from ship's anchors and trawlboards by a concrete coating.

How they do it at Statfjord

Another giant field on the Norwegian-U.K boundary is the North Sea's largest oilfield — Statfjord. It's estimated that 84 per cent of the field is in the Norwegian sector and that the reserves are so large they could supply Norway's petroleum needs for half a century. In addition to 520 million cubic metres of oil, Statfjord has an estimated 96 billion cubic metres of natural gas.

Two concrete platforms, the largest offshore structures ever built, have been installed and a third is under construction. Statfjord A was towed out from its construction site in a Norwegian fjord and lowered on the field in 1977. It began production in 1979. Statfjord B was towed out and installed in 1981. The total weight of Statfjord B (including water used as ballast in its concrete cells) is 800 000 tonnes. In appearance the Statfjord platforms resemble the Frigg treatment platforms — with concrete cells on the seafloor and tall concrete legs rising above water to support the

decks. But at Statfjord, each platform is an independent production centre, where wells can be drilled, impurities in the oil can be removed, and the crew can be housed and fed.

Statfjord A cost $1.5 billion. It is as high as a 60-storey building. It has a six-storey hotel on its top deck where the 200 crew members eat, sleep, watch movies and keep in shape in specially equipped exercise rooms.

Statfjord B cost $2 billion. Tougher safety and environmental protection regulations were responsible for part of the increased cost.

Cluster of cells at base of Statfjord B under construction. Four cells were built to a height of 175 metres and became platform legs. The rest were sealed at 64 metres for ballast and storage. (*Statoil photo*)

Statfjord B tow-out from Norwegian coast. Production facilities (and white seven-storey hotel for crew) are supported on four concrete legs. (*Statoil photo*)

Impurities are removed from the crude oil on the platform decks before the crude is stored in the cells in the bottoms of the platforms. Periodically the oil is transferred to tankers for delivery to refineries on shore. One of the "impurities" removed from the crude oil is dissolved natural gas. The gas is re-injected into the reservoirs. Until a pipeline to shore is built, the gas would be wasted if it were not re-injected.

One of the advantages of concrete platforms for Statfjord was that Norwegian workers and Norwegian companies participated in the massive construction projects. If steel platforms had been built, the construction jobs would have been mostly for highly-skilled steelworkers and the material requirements would have included imported steel. Concrete platforms, though they also used steel, required more materials that were available locally and spread the work among a larger number of people, many of whom didn't need to be highly-trained. Three-hundred and fifty firms participated in Statfjord A's construction and installation, and 21 million man-hours of work were generated.

How they do it at Argyll

The story of the Argyll field in the North Sea will probably receive special attention from all of those concerned with Canadian developments because Argyll was the first field to use a floating production platform. Floating platforms will be one of the options considered in the Atlantic offshore because they can be built and installed faster than fixed platforms and they may be better suited to fields where ice is a hazard.

It was decided in 1973 to produce Argyll from a semi-submersible and by 1975 the first oil was delivered to shore by a tanker. The development had taken half the time and one-third the investment of a comparable fixed platform.

Weather interrupts production on Argyll several times a year. In bad weather the tanker slips its mooring, the pipes from the wells on the seafloor to the semi-submersible may be disconnected, and production ceases until conditions improve.

In 1976, in a storm so severe it could be expected only once in 50 years, three of the semi-submersible's 12 anchor chains broke, and it drifted 200 metres off location. This indicates the technological challenges designers will face in the Atlantic offshore.

How they do it at Garoupa

Brazil's Garoupa field used a converted tanker as a floating production platform until a fixed platform was installed. Crude oil flowed in pipes from the seafloor wellheads to the production tanker moored in 150 metres of water; the dissolved gas was removed; and purified crude was stored in the tanker until it was transferred to a sister tanker for delivery to refineries on shore.

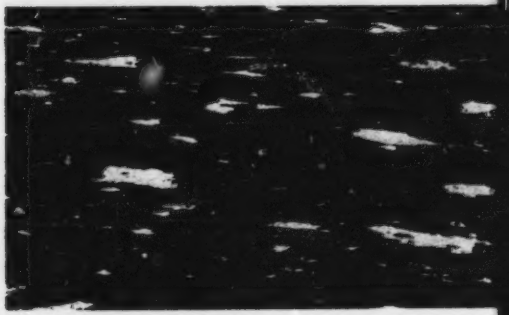
The Brazilian state oil company, Petrobras, intends to use the two tankers for early production from another field.

Argyll's floating production platform in dock for servicing. (*Hamilton Bros. photo*)

Canadian Coast Guard Ship **Grenfell** (top), an offshore supply vessel converted for search and rescue, in Corner Brook harbour. (*Transport Canada photo*)

Buoy tending from CCGS **Wolfe** (bottom) near Charlottetown, P.E.I. (*Transport Canada photo*)

Federal fisheries patrol vessel **Chebucto** alongside Russian trawler on the Grand Banks. (*Scott Films*)



The Bedford Institute's **Baffin** (top) on hydrographic survey off Labrador. (*Bedford Institute photo*)

Vessel Traffic Management (VTM) Centre at Argentia, Newfoundland (bottom) directs traffic in busy Placentia Bay. (*Transport Canada photo*)

How good is the news?

Will the Atlantic offshore make a dent in the world's energy "crisis"? In a single word, no. Oil is being burned at a rate of 15 Hibernias a year — a rate estimated to be 100 000 times faster than it is being made in the earth's crust. Over the long term, all countries will clearly have to shift from oil to other energy sources and to adopt wide-ranging conservation practices.

Still, the discoveries are good news for Canadians. Production from the oil fields of western Canada has been declining and although there is oil in the tar sands and oil and gas in the North, it will be many years before these sources can supply a significant portion of our energy needs. The discoveries of the Atlantic offshore will contribute to oil self-sufficiency, a goal of the National Energy Program. Achieving this goal will not only stop the outflow of money for oil imports, it will also protect Canada from disruptions in oil supplies that result from conflict or political unrest in oil-exporting nations.

The discoveries are good news for the residents of Atlantic Canada in particular. Now dependent on imported oil for much of its energy, in future Atlantic Canada will receive secure energy supplies from offshore developments.

Investments in petroleum production will provide an unprecedented stimulus to economic activity in the Atlantic region. There will be new and rewarding opportunities for businesses and for individuals.

Some of the money invested will be spent on equipment and services not available in Canada, but both federal and provincial governments are working to increase Canadian participation.

There will be two phases to the economic impact of petroleum investments, the construction phase and the production phase. During the construction of production facilities for each field (a period of several years) there will be a high demand for materials, for labour, for accommodations and for storage space. During the longer production phase (a period of perhaps 20 years for each field) the demand for materials, labour and space will be much less but steadier. The challenge for all of those involved in petroleum developments will be to ensure that normal community life and the customary ways of making a living and doing business are not disrupted while at the same time taking best advantage of the long term opportunities provided by energy under the sea.

Published under the authority of
The Minister of Energy, Mines and Resources Canada

Copies of *Energy Under the Sea* are available at no charge from:

Energy, Mines and Resources Canada
215 Water Street
7th Floor
St. John's, Newfoundland
A1C 6C9

and,

Energy, Mines and Resources Canada
5151 George Street
5th Floor
Halifax, Nova Scotia
B3J 1M5

Aussi disponible en français

© Minister of Supply and Services Canada 1982
Cat. No. M27-39/1982E
ISBN 0-662-12076-0

Energy, Mines and Resources Canada
Energie, Mines et Ressources Canada

Canada

La première ressource marine des côtes atlantiques canadiennes fut, semble-t-il, assez facile à trouver. Il suffisait en effet de traîner un panier à l'eau pour qu'il se remplisse de poissons. C'est du moins ce que soutenaient, il y a près de 500 ans, les membres d'équipage du *Matthew*, navire de Jean Cabot, en parlant de leur expédition aux Grands Bancs à l'été de 1497.

La découverte de la deuxième richesse marine n'a pas été aussi facile cependant. Il aura fallu 20 ans de recherches et presque un milliard de dollars pour découvrir, au large de Terre-Neuve, le premier important gisement de pétrole. C'est seulement à l'été de 1979 que la foreuse du navire *Glomar Atlantic* a atteint les grès saturés de pétrole du secteur Hibernia.

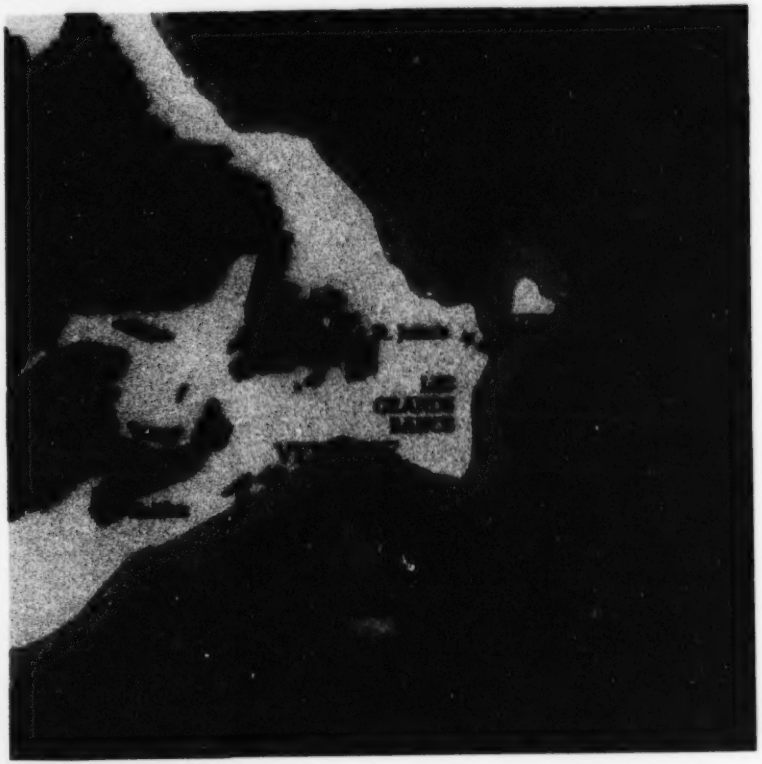


photo couverture Le navire à positionnement dynamique *Neddrill 2*.
(Photo Neddrill)

photo endos La plate-forme auto-élévatrice *Rowan Juneau*, à l'œuvre au large de l'île de Sable.
(Photo Scott Films)

L'épaule submergée de l'Amérique du Nord, le plateau continental, s'étend jusqu'à 500 km au large des provinces de l'Atlantique. Ce plateau comprend les Grands Bancs de Terre-Neuve, le banc de l'île de Sable et d'autres bancs qui, depuis près de cinq siècles, attirent les pêcheurs de tous les coins du monde.

Le fond marin du plateau continental est plat. Généralement, il se trouve à moins de 200 m de la surface mais, à certains endroits, sa profondeur peut atteindre 500 m. Il est recouvert de sable et de boue, sauf où les courants et marées ont exposé le roc.

Au delà du plateau commencent le talus continental et le glacis précontinental. Ces trois zones constituent ce que l'on appelle la marge continentale. S'étendant sur une superficie de presque deux millions et demi de kilomètres carrés, la marge continentale rejoint les plaines boueuses du fond marin du nord de l'Atlantique, parfois à 1 000 km des côtes et à des profondeurs dépassant les 4 km.

Le phytoplancton est à la mer ce qu'est l'herbe à la surface terrestre. Vivant seulement de soleil et de minéraux dissous dans l'eau, ces plantes microscopiques sont l'aliment de base de toute la vie marine. Un litre d'eau de mer peut contenir jusqu'à 20 millions de ces petits organismes, au moment de leur «floraison».

On aperçoit, à droite, trois des nombreuses variétés de plancton vivant au large des côtes de l'Atlantique. Au moment de la «floraison» printanière, c'est chez la variété des **Chaetoceros** (photo du haut) que se produit la première explosion démographique. Puis, c'est au tour des **Thalassiothrix** (en bas, à gauche) et des **Dinophysis** (en bas, à droite).

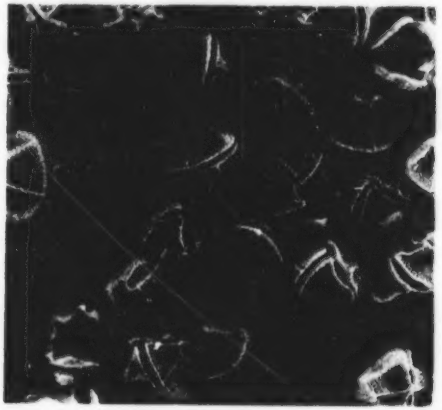
Ces micro-organismes jouent un rôle essentiel dans la survie des pêcheries de l'Atlantique. Les ancêtres du plancton ont aussi contribué à la formation du pétrole que l'on découvre, aujourd'hui, au large des côtes. *(Photos Institut de Bedford)*

La fabrication du pétrole et du gaz

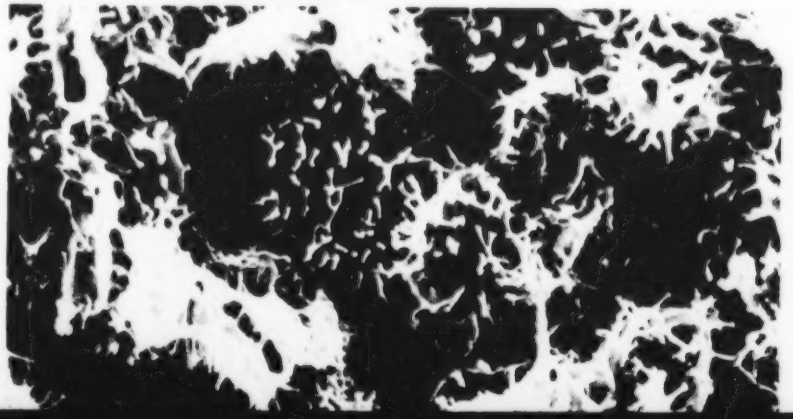
Des ingrédients organiques

Aussi étonnant que cela puisse sembler, la nature de la vie marine n'a pas tellement changé depuis les jours où les dinosaures régnaient en maîtres sur le continent nord-américain. La plupart des animaux et plantes qui peuplaient alors les mers ont certes disparu, mais les organismes qui leur ont succédé demeurent de forme et taille similaires. À cette époque de la préhistoire, une minuscule plante unicellulaire, qui n'avait besoin, pour vivre et se reproduire, que de soleil, d'oxygène et des minéraux dissous dans l'eau, soutenait toute la vie marine. Ce petit organisme, le plancton, constitue encore aujourd'hui le premier maillon dans la chaîne de la vie dans l'Atlantique.

Chaque animal ou plante qui se nourrissait du plancton absorbait des petites quantités de lipides, matières grasses qui sont l'un des éléments de base de la vie. S'il n'est pas possible d'affirmer que le pétrole d'aujourd'hui provient de ces lipides, il ne fait aucun doute qu'il existe un lien entre la vie d'il y a 150 millions d'années et les ressources pétrolières trouvées au large des côtes de l'Atlantique.



Le **Gonyaulax**, une espèce de plancton qui existe aujourd'hui, grossi près de 250 fois, grâce à un microscope électronique. *(Photo Institut de Bedford)*



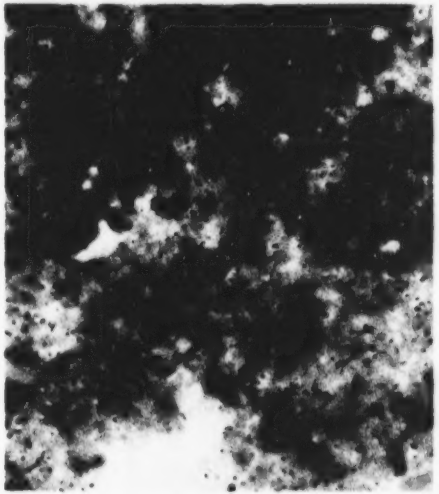
On aperçoit ici, grossis environ 425 fois, des fossiles du plancton **Apectodinium**. Il s'agissait probablement de l'ancêtre de l'espèce moderne de plancton que l'on aperçoit, à gauche. Ces organismes fossilisés (une vingtaine dans la photo) ont été découverts dans des échantillons de schiste retirés d'un puits de 970 m de profondeur, foré dans le plateau continental de l'Atlantique. *(Photo Institut de Bedford)*

Aussi, à l'ère des dinosaures, les rivières de l'Est canadien déversaient dans la mer des quantités considérables de limon. Des débris de plantes terrestres, qui se retrouvaient dans ce limon, venaient ainsi se déposer au fond de la mer, avec les restes des plantes et animaux marins.

Comme sur la surface terrestre, une grande partie de cette matière organique s'est décomposée. L'oxygène, qui active la décomposition, se retrouve en abondance dans les couches supérieures de la mer.

Toutefois, la matière organique qui s'est entassée dans les fonds marins, où l'oxygène manquait, s'est décomposée d'une façon tout à fait différente. Les réactions chimiques n'étaient pas les mêmes.

Les dépôts de sable et de boue continuaient de s'accumuler, le long de la marge continentale. Le fleuve Saint-Laurent, l'un des plus anciens cours d'eau du continent, déversait des quantités considérables de limon au large de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve.



La matière organique ne constituait qu'une faible partie de ces dépôts mais sa présence dans cet environnement pauvre en oxygène constituait un des quatre ingrédients nécessaires à la fabrication du pétrole et du gaz naturel.

Dans cette photo, on aperçoit, grossis 300 fois, des fossiles typiques de restes marins que l'on trouve dans les formations rocheuses du plateau continental. La plupart de ces fossiles sont des restes de plancton.
Dans des conditions propices, c'est du pétrole qui résulte d'un tel mélange. *(Photo Institut de Bedford)*

On aperçoit ici, grossis 300 fois, des fossiles typiques de débris organiques provenant de la surface terrestre, qui se trouvent dans les formations rocheuses sous-marines du plateau continental de l'Atlantique. Les veinures proviennent des tiges des plantes. Dans des conditions très particulières, le mélange de ces éléments donne naissance à du gaz naturel. Les chercheurs croient que les points noirs sont des particules de charbons de bois issus de feux de forêts qui ont fait rage il y a des millions d'années et qui par la suite ont été transportées au fond de la mer. *(Photo Institut de Bedford)*

Un peu de cuisson

Avec le passage des années et l'accumulation de nouveaux dépôts, les couches inférieures de boue et de sable ont commencé à se solidifier, pour enfin devenir du grès et du schiste. Les nouvelles couches de dépôts réduisaient progressivement l'effet refroidissant de l'eau de mer et, avec le temps, la température dans les strates inférieures du fond marin avait grimpé suffisamment pour donner lieu à un phénomène que les géologues appellent la «cuisson». La cuisson des matières organiques constitue la deuxième condition essentielle de la formation de champs pétrolifères et gazifères.

Selon leur composition organique et le degré de cuisson, certaines formations rocheuses produisent plus de gaz ou plus de pétrole. Habituellement, une faible cuisson produira du gaz naturel. Si le degré de cuisson augmente, le produit sera du pétrole mais, en chauffant encore plus, ce sera de nouveau du gaz naturel. De plus, la règle semble indiquer que la décomposition de restes organiques provenant de la surface terrestre produira plutôt du gaz et que le pétrole est plutôt issu de matières organiques provenant de l'océan.

Le pétrole du puits Hibernia, dans les Grands Bancs, est extrait de roc dont la matière organique est d'origine marine. On y retrouve des vestiges de l'ancêtre du plancton qui vit aujourd'hui dans la zône des Grands Bancs. Le gaz naturel du puits Venture, près de l'île de Sable, provient cependant de formations rocheuses composées de débris végétaux provenant de la surface terrestre.

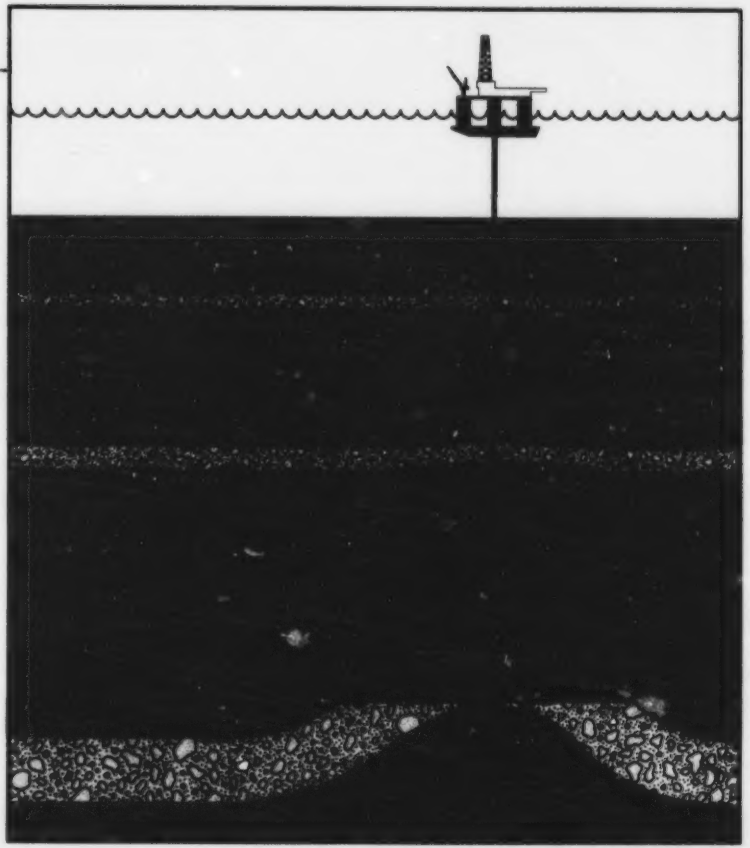
Le charbon que l'on retrouve en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick et à Terre-Neuve est aussi d'origine végétale. Il ne s'agit cependant pas de plantes qui ont été déposées sur le fond marin. Il y a 290 millions d'années, les restes de ces plantes se sont entassés dans des marais et sont devenus de la tourbe. Après avoir été enfouis sous des couches successives de nouveaux dépôts, ces débris ont été transformés en charbon.

Laisser lever

Le pétrole et le gaz naturel étant des fluides, ils se déplacent sous l'effet de la pression, souvent vers la surface. Ce mouvement peut être difficile à travers le roc à grains serrés, où il n'existe pas de fissures. Ainsi, il est impossible de récupérer le pétrole et le gaz naturel s'ils ne sont pas accumulés dans des formations rocheuses poreuses.

Une telle formation de roche poreuse s'appelle un réservoir. La troisième condition nécessaire à la fabrication du pétrole et du gaz naturel, c'est l'existence d'un tel réservoir. Les épaisses couches de grès qui se sont accumulées au large des provinces atlantiques à l'ère des dinosaures constituent d'excellents réservoirs.

Au premier abord, il pourrait sembler avantageux de disposer de tels réservoirs près de la surface, où ils seraient facilement accessibles. Ce n'est cependant pas le cas. Si ces réservoirs étaient situés à la surface, il y a longtemps que le gaz et le pétrole se seraient échappés, pour être dispersés en mer. La fuite et la dispersion de gaz et de pétrole qui ont été produits dans les profondeurs de la terre sont une conséquence inexorable du mouvement de la croûte terrestre.



Un couvercle de schiste (en gris) empêche le pétrole de s'échapper du réservoir dans le grès (en jaune). Il s'agit de ce que les géologues appellent un «piège».

Mais pas trop

Toutefois, si la couche supérieure du réservoir est formée de roc imperméable comme du schiste, le gaz et le pétrole y demeurent emprisonnés. Pour obtenir du pétrole et du gaz naturel, il faut donc une quatrième condition: un couvercle imperméable.

Dans les épaisses strates de grès et de schiste qui forment le fond marin des côtes de l'Atlantique, le schiste peut donc servir de couvercle imperméable pour le grès, mais dans des conditions bien spéciales seulement. Dans la plupart des cas, des fissures dans le schiste ont permis au gaz et au pétrole de s'échapper. Lorsque cependant les couches de schiste sont venues à former une voûte ou un dôme au-dessus du réservoir de grès, le gaz et le pétrole s'y sont accumulés. Ces dômes forment en quelque sorte des bols renversés qui recueillent le gaz et le pétrole dans leur mouvement vers le haut, un peu comme un bol recueillerait l'eau de pluie. Les géologues disent qu'il existe un «piège», quand un réservoir est recouvert d'un tel dôme. La recherche de ces «pièges» constitue donc toujours la première étape dans l'exploration pour le pétrole et le gaz naturel.

L'Institut océanographique de Bedford, à Dartmouth en Nouvelle-Écosse, est le plus important des centres de recherche océanique du gouvernement fédéral. Mis sur pied en 1962, l'Institut compte des océanographes, des spécialistes en levés hydrographiques, des techniciens et les navires requis pour la mise en œuvre de programmes de recherche à grande échelle.

Le navire **Hudson**, que l'on aperçoit, dans la photo, et le **Baffin**, de l'Institut de Bedford, sont les vaisseaux les plus perfectionnés au monde pour la recherche en haute mer, à l'exception de ceux de l'URSS.

Du brouillard, de la glace, de la morue . . . et du pétrole

Le froid

Les conditions dans lesquelles doit œuvrer l'industrie pétrolière, au large des côtes de l'Atlantique, sont peut-être les plus difficiles au monde. Le fond marin au large de l'île de Sable ressemble peut-être à celui des côtes de la Louisiane mais, à la surface, c'est un tout autre monde. Le golfe du Mexique, où les risques d'ouragans sont pourtant élevés, n'est qu'un petit étang si on le compare à l'Atlantique Nord. Quand on parle, dans l'industrie pétrolière, de conditions pénibles, on songe naturellement à la mer du Nord, où les travailleurs ont dû braver le froid, des mers déchaînées et des tempêtes fréquentes. Pourtant, la vie et le travail sont beaucoup plus difficiles dans les Grands Bancs. Les tempêtes y sont trois fois plus nombreuses. La température moyenne de l'eau est plus basse de six degrés. La température de l'air ambiant est plus basse en moyenne de cinq degrés, de sorte que le mercure se maintient au-dessous du point de congélation 55 % du temps. Les travailleurs de la mer du Nord n'ont à affronter des conditions de gel que 5 % du temps.

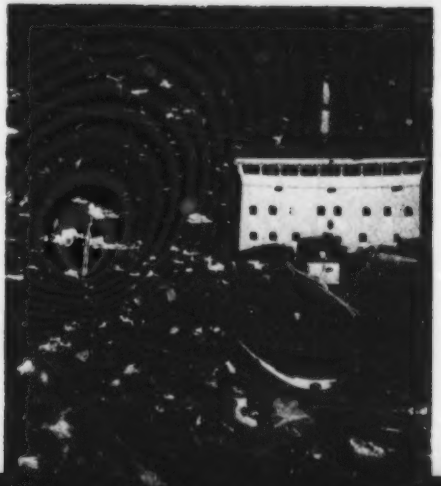
L'un des graves problèmes causés par le froid qui sévit dans les Grands Bancs est l'accumulation de glace. À travers les générations, les pêcheurs ont trouvé une façon de venir à bout de ce problème, causé par les embruns qui gelaient sur le gréement de leurs navires: ils brisaient la glace avec des maillets. Quand il s'agit cependant d'une tour de forage, c'est une méthode peu pratique et surtout dangereuse.

De plus, les travailleurs de la mer du Nord n'ont pas à s'inquiéter du danger provenant des banquises et des icebergs.

Un petit iceberg, à l'entrée du port de St-Jean. Lorsqu'ils ont la taille d'une petite maison, les icebergs sont appelés "Bergy bits". Plus petits, soit de la grosseur d'un piano, ils sont appelés des glaçons. *(Photo Bazeley C-CORE)*

Les banquises obstruent pendant tout l'hiver le golfe Saint-Laurent et la côte du Labrador, et rendent la navigation périlleuse au printemps. Certaines années, les Grands Bancs n'ont pas trop à souffrir de la présence des banquises, mais en d'autres époques, celles-ci sont nombreuses. En 1973, tout le secteur du puits Hibernia est demeuré sous l'emprise de la glace, de janvier à mai.

Quant aux icebergs, ils menacent la navigation au printemps et durant l'été, depuis les îles arctiques jusqu'à l'extrémité sud-est des Grands Bancs, et parfois même plus au sud. Puisqu'on y retrouve en moyenne 260 icebergs par année, il n'est donc pas étonnant que la mer du Labrador ait été baptisée le «Sentier des icebergs». Il y a même eu des années où jusqu'à 1 600 icebergs ont été dénombrés. Pendant une période de seulement six semaines, le radar d'un navire de forage a repéré pas moins de 391 icebergs dans un rayon de 24 km.



On aperçoit, en haut, le navire de forage **Pacscore I**, à l'œuvre dans la mer du Labrador. Lorsque le brouillard est très dense, il est impossible de distinguer, à partir du pont, la proue du navire. *(Photo Petro-Canada)*

Sur le **Dawson**, comme on peut le voir, en haut, à gauche, il faut briser la glace. *(Photo Institut de Bedford)*

En bas, à gauche, le brise-glace **Radisson** de la Garde côtière du Canada, amarré à son port d'attache à Québec *(Photo Transports Canada)*

Des glaces en mouvement

S'étant détachées des glaciers du Groenland, ces montagnes de glace sont préservées et transportées par les courants froids de la baie Baffin. La plupart des icebergs contournent le flanc est des Grands Bancs, mais certains, entraînés par des courants secondaires, dérivent jusque dans le golfe Saint-Laurent ou même à quelques kilomètres seulement de St. John's.

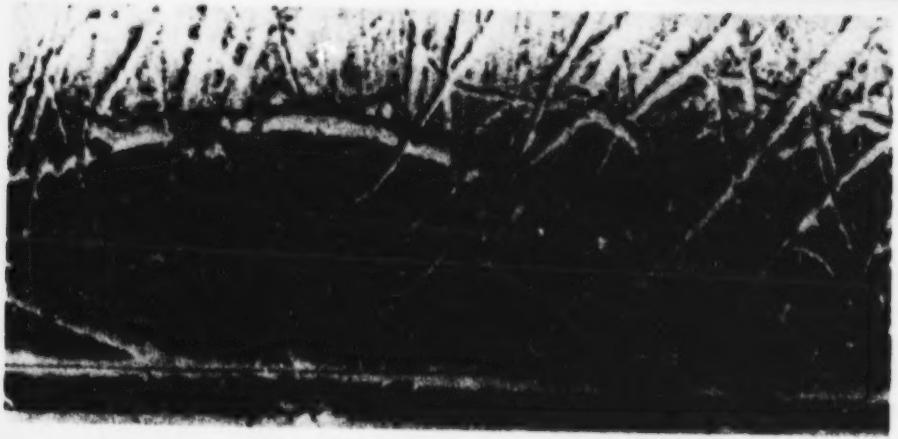
Après avoir dérivé pendant parfois trois ans, les icebergs viennent fondre à l'est des Grands Bancs, où le courant du Labrador plonge dans les eaux plus chaudes du Gulf Stream.

Les vents peuvent influer sur le parcours des icebergs mais ce sont les courants qui sont le facteur prépondérant. La partie submergée de l'iceberg, la quille, est en effet beaucoup plus grande que la voilure, la partie au-dessus de l'eau sur laquelle le vent pourrait avoir une influence. Dans certains cas, la quille d'un iceberg peut atteindre 200 m de profondeur ou plus, alors que la hauteur de la voilure représente habituellement moins du tiers de cette profondeur.

Lorsqu'un iceberg vient s'échouer sur le plateau continental, sa quille laisse des traces

La pointe d'un iceberg géant s'élance à 130 m au-dessus de l'eau. Puisque sa quille se trouve tout probablement à 500 m de profondeur, cet iceberg est plus haut qu'un immeuble de 35 étages. On aperçoit à l'horizon la calotte glaciaire du Groenland, d'où s'est détaché cet iceberg. *(Photo Institut de Bedford)*

dans le sable et la boue. Si l'iceberg continue à la dérive, sa quille creuse de profonds sillons. Objets de curiosité pendant nombre d'années, ces sillons parfois millénaires qui s'entrecroisent sur le fond de la mer au large de Terre-Neuve et du Labrador ont récemment revêtu une importance particulière pour l'industrie pétrolière. En étudiant attentivement ces sillons, on espère en effet pouvoir évaluer avec précision les dangers que constituent les icebergs pour les têtes de puits et les conduites sous-marines.



Les icebergs à la dérive constituent une menace pour les navires de forage œuvrant dans la mer du Labrador. D'autres vaisseaux sont utilisés pour les remorquer. *(Photo Génie, Université Memorial)*

Un sonographe donne un aperçu du fond marin du banc Saglek, à 165 m de profondeur, dans la mer du Labrador. Les quilles des icebergs ont tracé des sillages pouvant atteindre 3 m de profondeur dans la boue et la glaise. Des sillages de 17 m de profondeur ont été relevés. *(Photo Institut de Bedford)*

Le jardin de la mer

Habitué aux formes de vie sur la terre ferme, l'homme ne peut que trouver étonnante la richesse de la mer au large des provinces atlantiques. Souvent hostiles pour ceux qui doivent habiter à terre, ces eaux sont néanmoins de véritables jardins foisonnant de vie.

Le plancton végétal (phytoplancton), une plante microscopique à une seule cellule, constitue le premier maillon de cette chaîne des espèces vivantes. Le phytoplancton, qui vit et se reproduit grâce au soleil et aux minéraux dissous dans l'eau de mer, jouit, deux fois l'an, de conditions idéales. À l'automne, et encore plus au printemps, c'est une véritable explosion de plancton. Durant cette période de «floraison», un seul litre d'eau peut contenir jusqu'à 20 millions de ces petits organismes. Durant la «floraison» printanière, il arrive que l'eau de mer change de couleur, passant au vert ou au brun, et devienne gluante au toucher.

Le printemps est cependant très bref: il ne dure au plus qu'une vingtaine de jours, entre la fin avril et le début mai. C'est tout d'abord chez les diatomés, une des nombreuses espèces de plancton, que se produit cette explosion démographique. Vient ensuite la «floraison» d'une deuxième espèce, les dinoflagellés.

Si les conditions idéales se maintenaient, il suffirait de quelques semaines seulement pour que la terre entière soit recouverte de plancton. Heureusement, cette période reste de courte durée. La croissance du plancton dépend aussi de la disponibilité des éléments nutritifs, qui doivent se trouver dans les couches supérieures de la mer, où peut pénétrer le soleil. Ce sont les cours d'eau se jetant à la mer et les courants qui remuent constamment le fond marin qui transportent aux couches supérieures ces éléments dont a besoin le plancton. Lorsque la reproduction bat son plein, le plancton a tôt fait de consommer la nourriture

On aperçoit, ici, dans le fond marin près du puits Hibernia, des étoiles de mer, des ophiures de 5 cm de diamètre, des sillages de vers et des débris de coquillages. *(Photo Institut de Bedford)*

Un hélicoptère Sea King des Forces armées canadiennes surveille des chalutiers étrangers, dans les Grands Bancs. *(Photo Scott Films)*

disponible. Un des éléments qui contribuent à la floraison du plancton commence alors à manquer et ces petits organismes se reproduisent donc beaucoup plus lentement, pour enfin s'éteindre.

Le plancton végétal sert à son tour de pâturage, à l'année longue, à une multitude d'espèces de plancton animal. Cousins lointains du homard et de la crevette, les copépodes forment le groupe le plus important du plancton animal. Les petits poissons, dont le hareng, se nourrissent des copépodes et, comme le dictent les règles de la nature, servent à leur tour de nourriture. Parmi les gros poissons qui se nourrissent du hareng, on retrouve la morue, la base même de l'industrie canadienne des pêcheries.

Ce cycle de la vie, qui a donné naissance, il y a 150 millions d'années, au pétrole que l'on recherche aujourd'hui au large des côtes, est donc le même qui, il y a 500 ans, a poussé des pêcheurs européens à braver la mer dans de petites embarcations en bois.

La plupart des pêcheurs sont maintenant des Canadiens et les jours des navires en bois sont révolus mais la richesse des eaux demeure aussi vaste qu'à l'époque de Jean Cabot. C'est pourquoi cette chaîne de vie doit être protégée à tout prix.

Pendant la période de l'exploration, la première étape de la mise en valeur des ressources sous-marines, l'industrie pétrolière et les pêcheurs ont dû apprendre à faire bon ménage. Maintenant qu'approche le moment d'amorcer la production et de prendre les moyens pour transporter les ressources à la côte, le gouvernement fédéral a pris des mesures législatives pour contrôler l'exploitation pétrolière et gazière au large des côtes, dans le Grand-Nord et dans les Terres de la Couronne. En élaborant cette législation, il a puisé dans l'expérience canadienne et dans celle d'autres pays où les pêcheurs et l'industrie pétrolière ont réussi à résoudre en commun leurs problèmes.

Amendée par l'adoption, en 1981, de la Loi sur le pétrole et le gaz du Canada, la Loi sur la production et la conservation du pétrole renferme des provisions sur la protection de l'environnement qui se comparent

Dans la photo du haut, des pêcheurs côtiers s'affairent à poser un piège à morues, près de Torbay, Terre-Neuve. *(Photo Pêches et Océans Canada)*

On aperçoit, dans la photo du bas, un pêcheur côtier de Tracadie, au Nouveau-Brunswick, détachant les pétoncles de leur coquille. *(Photo Pêches et Océans Canada)*

favorablement à toute mesure qui a pu être prise ailleurs dans le monde. Si le premier objectif de cette législation demeure de prévenir les accidents, elle contient néanmoins des dispositions rigoureuses en ce qui a trait au nettoyage des fuites de pétrole et aux paiements de dédommagement. Toutes les sociétés se livrant au forage au large des côtes ont dû verser une caution de 30 millions de dollars, qui servira de dédommagement s'il se produit une éruption ou une fuite de pétrole. La loi stipule que le dédommagement sera versé même si la négligence de l'entrepreneur n'a pas été établie.

La responsabilité de retirer du fond marin les débris provenant d'un accident, qui pourraient endommager les filets ou l'équipement des pêcheurs, revient aussi aux sociétés pétrolières. En cas de dommages, la Loi prévoit le versement d'un dédommagement, évitant ainsi la nécessité pour les pêcheurs de recourir aux tribunaux.

Les problèmes, quoique d'ordre mineur, sont cependant inévitables: il ne peut y avoir des chalutiers et des plates-formes de forage au même endroit et au même moment. De plus, l'industrie de la pêche et du pétrole rivalisent parfois pour recruter une main-d'œuvre qualifiée, se disputent des espaces à terre et s'arrachent des aires sur les quais. Toutefois, le développement des deux industries dans l'harmonie demeure la priorité des gouvernements fédéral et provinciaux.

Il n'y a pas cependant que des problèmes: l'industrie de la pêche, aussi bien que les pêcheurs eux-mêmes, peuvent retirer beaucoup d'avantages de la présence de l'industrie pétrolière. Le plus grand nombre d'avions et de navires qui sont affectés au secteur côtier a sans doute mené à une amélioration des services de recherche et de sauvetage. Les données météorologiques recueillies par l'industrie pétrolière et gazière ont permis d'établir des prévisions beaucoup plus précises. Enfin, la recherche sur la vie marine et les conditions océaniques à laquelle les sociétés pétrolières doivent, en vertu de la Loi, se livrer avant de passer à l'étape de la production, a fourni une multitude de données qui permettent déjà de gérer plus efficacement les pêcheries et les ressources marines du Canada.

La pêche côtière en hiver dans les Grands Bancs, à bord du **Cape La Have**, qui a son port d'attache à Lunenburg (Nouvelle-Écosse). *(Photos Pêches et Océans Canada)*

Des années de recherches

Lorsque le gouvernement fédéral a accordé les premiers permis d'exploration, en 1960, la géologie de la marge continentale tenait de l'inconnu.

En contrepartie de ces droits exclusifs sur l'exploitation des ressources pétrolières qu'elles pouvaient découvrir, les entreprises devaient se livrer à l'exploration du fond marin. Si une société cessait son exploration ou ne lançait pas chaque année des nouvelles recherches, le permis pouvait être révoqué. Grâce à cette formule, les sociétés ont pu dresser un premier inventaire du potentiel pétrolier. Au cours des 15 années qui ont suivi l'émission des premiers permis, l'exploration s'est poursuivie sur une superficie de plus de 1,3 million de kilomètres carrés. Des recherches ont été effectuées jusqu'à 720 km de la côte et à des profondeurs atteignant 4 km (4 000 m). Après cette période, l'industrie pétrolière a abandonné les deux tiers de ces permis afin de concentrer ses efforts sur les secteurs les plus prometteurs.

En 1960, la société Mobil Oil Canada a effectué pour la première fois des

Le navire de forage **Glomar Atlantic** qui a permis de découvrir le gisement Hibernia.
(Photo Standard Chevron)

recherches à l'aide de sondages sismiques, au large de l'île de Sable. Lorsqu'il s'agit d'une première exploration à distance d'un terrain, les sondages sismiques sont la technique la plus efficace dont dispose l'industrie pétrolière. Grâce à cette technologie, qui s'apparente au sonar et au radar, il est possible, en captant les échos renvoyés par les diverses formations rocheuses du fond marin, de tracer, d'une façon sommaire, le relief du fond sous-marin. Si les sondages sismiques peuvent repérer les fameux «pièges», il demeure que seul le forage permet de confirmer la présence de pétrole ou de gaz.

Ce n'est qu'en 1966 qu'a débuté le forage au large des côtes de l'Atlantique, lorsque la société Amoco Canada a creusé deux puits, dans le secteur des Grands Bancs. C'était le début d'une longue série de déceptions. À l'exception d'un gisement de peu d'importance découvert en 1973, les 40 premières tentatives de forage en haute mer n'ont pas permis de trouver de gaz ou de pétrole.

Vu leur grande stabilité, les plates-formes semi-submersibles se sont avérées les plus appropriées pour le forage dans le secteur des Grands Bancs. Munies de pontons submergés, ces plates-formes flottent dans l'eau plutôt que sur l'eau. Trois de ces plates-formes de modèle *Sedco H*, construites aux chantiers maritimes d'Halifax, ont permis de forer plus de la moitié des quelque 150 puits au large de la côte. La plate-forme *Sedco 709*, qui a aussi été construite à Halifax, était le premier modèle semi-submersible au monde à positionnement dynamique. Grâce à un système de propulseurs, commandé par un ordinateur, une telle plate-forme peut maintenir sa position au-dessus d'un puits sans recourir à une ancre, en dépit des vagues et des courants. La première plate-forme semi-submersible appartenant à des Canadiens a été la *Bow Drill I*, achetée en 1981.

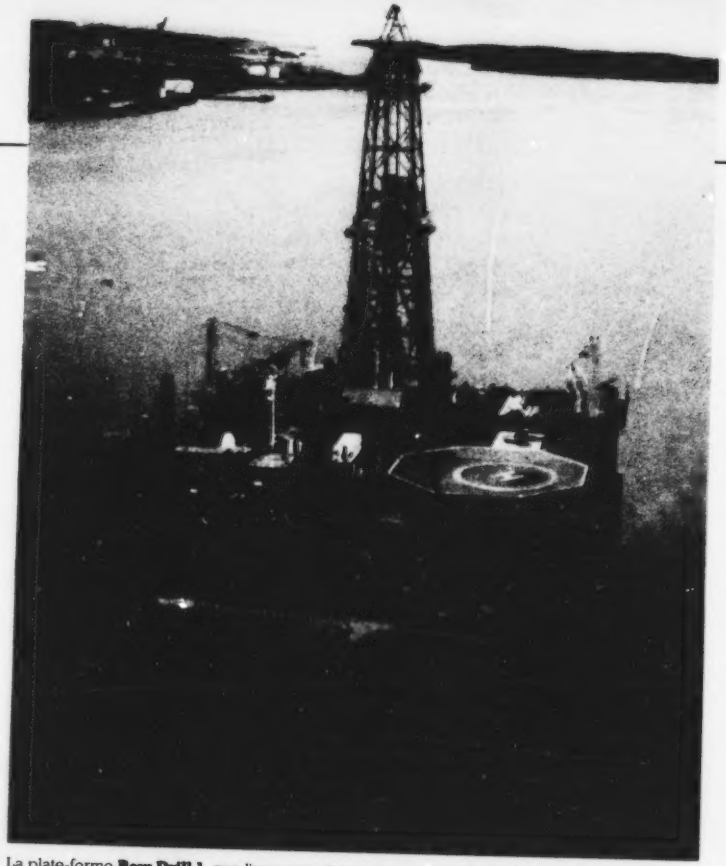
La plate-forme de forage semi-submersible **Zapata Ugland**, à l'œuvre dans les Grands Bancs. *(Photo Scott Films)*

C'est à l'aide d'une plate-forme semi-submersible que le forage du premier puits de pétrole productif a pu être complété, en 1979.

Le forage du puits P-15 qui a mené à cette première découverte dans le secteur Hibernia a débuté à partir du navire *Glomar Atlantic*, en 1979, mais ce n'est que quelques mois plus tard, sur la plate-forme *Zapata Ugland*, que les premières vérifications sur la présence de gaz ou de pétrole ont pu être effectuées. À 320 km de St. John's, sur la périphérie nord des Grands Bancs, trois formations de grès situées à 80 m sous la mer, à une profondeur totale de 4 407 m, livraient le premier pétrole léger au large des côtes.

La découverte de trois gisements mineurs de gaz naturel, au début des années 70, a de plus encouragé les sociétés à poursuivre leurs recherches dans la mer du Labrador, en dépit des dangers posés par la glace et la période restreinte de forage.

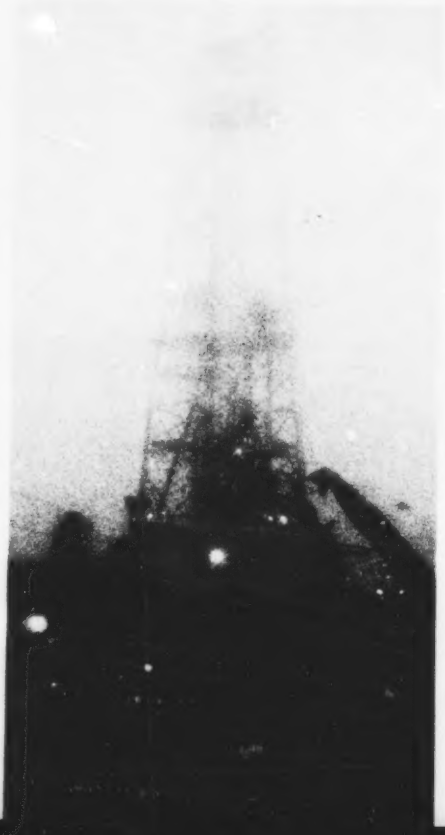
Le forage du premier puits, en 1971, à partir du navire *Typhoon*, a donné lieu à un véritable chassé-croisé en haute mer. L'été tirait à sa fin et il ne restait que quelques jours dans la période de forage. L'équipage du navire s'apprêtait à lever l'ancre et à abandonner le puits, pour céder la route à un iceberg qui se dirigeait vers le vaisseau. Imprévisible comme toujours, l'iceberg changea de route et évita le *Typhoon*, au grand soulagement de l'équipage. Le répit fut toutefois de courte durée puisque l'iceberg changea encore une fois de cap et se dirigea à nouveau vers le *Typhoon*. Cette fois, le navire de forage a dû abandonner sa position. L'équipage a pu sceller le puits mais il a fallu couper des amarres pour éviter une collision. Une fois l'iceberg passé, il était alors trop tard pour reprendre les travaux. Ce n'est que deux ans plus tard que le forage reprit, à partir du premier navire à positionnement dynamique, le *Pélican*.



La plate-forme **Bow Drill 1**, que l'on aperçoit ici amarrée dans le port de Halifax, a été la première plate-forme semi-submersible appartenant à des Canadiens.
(Photo Bow Valley)

Mis au point en France, ces navires de forage à positionnement dynamique ont été conçus en fonction des conditions qui règnent dans le «Sentier des icebergs». Lors de l'approche d'un iceberg, ces navires sont en mesure d'abandonner rapidement le site d'un puits puis d'y revenir et de reprendre aussitôt le forage, une fois le danger passé. Ils sont très dispendieux à exploiter mais les sociétés se livrant à l'exploration au large du Labrador, qui ne disposent que d'environ trois mois par année pour effectuer leurs travaux, n'ont pas tardé à adopter ce modèle de navire.

Ces navires à positionnement dynamique ne sont pas la seule méthode mise en œuvre pour utiliser au maximum les rares jours de la saison d'exploration. Les sociétés ont aussi recours à d'autres vaisseaux pour pousser ou même remorquer, après les avoir pris «au lasso», des icebergs qui menacent les installations de forage. Les icebergs sont parfois trop gros ou nombreux pour de telles opérations de remorquage et un tiers des navires de forage œuvrant dans la mer du Labrador ont dû, à un moment ou à l'autre, se déplacer pour éviter une collision.



Au large des côtes de la Nouvelle-Écosse, de grands espoirs régnaient, dès le début des travaux d'exploration. Le premier puits foré au large de l'île de Sable, à partir de la plate-forme *Onondaga E-84* de la société Shell, a livré du gaz naturel. En 1971, la société Mobil et ses associés découvraient des quantités de gaz et de pétrole suffisantes aux fins de la production, dans le puits E-48, au large de l'extrémité ouest de l'île de Sable.

Le vif émoi créé par l'annonce de cette découverte a cependant fait place à la déception; les sept forages suivants devaient confirmer que le puits E-48 se trouvait dans un piège, d'où s'échappaient le gaz et le pétrole.

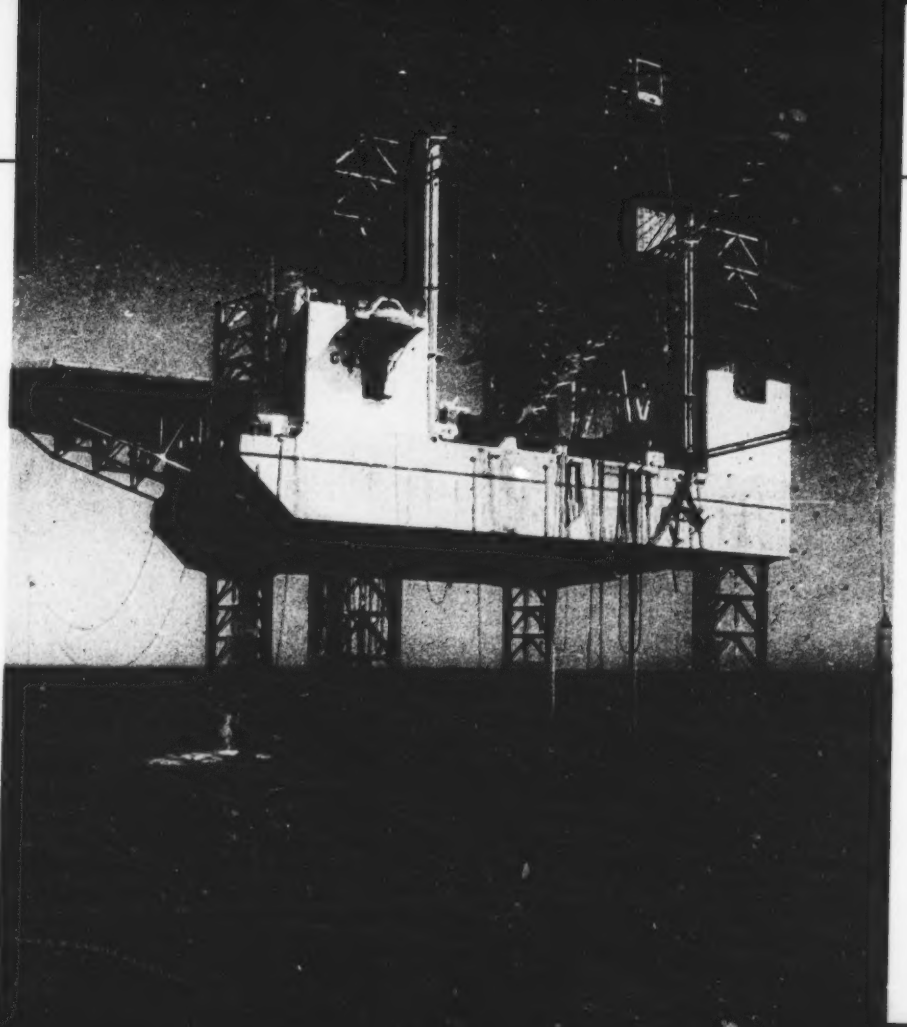
Au même moment où se succédaient les découvertes dans le secteur Hibernia, en 1979, la société Mobil trouvait, à l'aide de la plate-forme *Gulftide*, les premières réserves suffisantes de gaz naturel au large de l'île de Sable. À environ 12 km de l'extrémité est de l'île, la foreuse du puits Venture D-23 avait atteint, à 20 m sous la surface et à une profondeur totale de 4 954 m, du gaz naturel emprisonné dans le grès.

La plate-forme *Gulftide*, du modèle auto-élévateur, avait été nolisée par la société

Le navire de forage **Pacnorse 1**, un modèle à positionnement dynamique, est englouti par le brouillard, dans la mer du Labrador. *(Photo Petro-Canada)*

Mobil. Contrairement aux navires et plates-formes à positionnement dynamique, ces modèles ne flottent pas, sauf lorsqu'il s'agit de se déplacer entre des puits. Les plates-formes auto-élévatrices sont en fait de simples barges munies de pattes. Une fois que les pattes reposent sur le fond de la mer, il est possible d'élever la plate-forme à la hauteur voulue. Jouissant donc d'une très grande stabilité et étant aussi beaucoup plus économiques que les plates-formes à positionnement dynamique, ces modèles ne sont cependant pas du tout appropriés pour le forage dans les eaux profondes ou dans les secteurs de glace. Elles sont donc utilisées dans le golfe Saint-Laurent et dans les eaux peu profondes au large de l'île de Sable.

Les plates-formes de forage les plus robustes doivent être utilisées pour affronter les rigueurs du Nord de l'Atlantique. En plus de résister aux intempéries, ces plates-formes sont appelées à supporter tout l'équipement requis pour le forage de grande profondeur. Leur tour doit pouvoir hisser et supporter des tiges de forage de 5 km de longueur. Sur certaines plates-formes, il a été nécessaire de hisser, en



La plate-forme auto-élévatrice **Gulftide** a été utilisée pour le forage qui a mené à la découverte du gisement Venture, près de l'île de Sable. *(Photo Mobil)*

haute mer, des tiges pesant 350 000 kg, soit l'équivalent du poids de 300 automobiles.

Après 15 ans sans accident majeur, la tragédie frappa. Le 15 février 1982, 84 travailleurs périssaient dans le naufrage de la plate-forme *Ocean Ranger*.

La technologie du forage au large des côtes est relativement récente et les changements se sont succédé rapidement depuis les années 50, alors que la recherche pour le pétrole se déroulait dans les eaux peu profondes.

La plate-forme *Ocean Ranger* était la plus grosse du type semi-submersible. Les conditions pénibles qui régnaient dans le secteur des Grands Bancs avaient dicté ce choix. Le caractère inattendu et soudain de ce naufrage tragique a démontré qu'il reste encore beaucoup à apprendre de l'exploitation des gisements pétroliers, dans les conditions qui prévalent au large de la côte Atlantique. Une plus grande prudence s'impose dans les développements futurs.

Les gouvernements et l'industrie ont immédiatement entrepris une nouvelle étude de la technologie et des critères de sécurité. Cet examen approfondi de toutes les circonstances entourant le naufrage de la plate-forme permettra peut-être de mieux comprendre les défis humains et techniques que représentent les travaux au large des côtes.

Les leçons que l'on pourra tirer de ce naufrage tragique devront avant tout assurer une plus grande sécurité pour ceux qui devront continuer la besogne.

L'adoption de la Loi sur le pétrole et le gaz du Canada et des amendements à la Loi sur la production et la consommation du pétrole et du gaz ont amélioré grandement le cadre législatif à l'intérieur duquel se font l'exploration et la mise en œuvre des ressources pétrolières, dans les Terres du Canada. Au même moment, un organisme chargé de veiller à l'application de ces lois, l'Administration du pétrole et du gaz dans les Terres du Canada, a été formé par le gouvernement.

Grâce à cette législation, le gouvernement est en mesure d'exercer un plus grand contrôle sur le rythme auquel l'industrie se livre à l'exploration. La nouvelle législation favorise de plus la participation des Canadiens. Même si le gouvernement canadien avait, par le biais de dégrèvements fiscaux consentis aux sociétés et aux investisseurs, assumé plus de la moitié des coûts de l'exploration au large des côtes, la participation canadienne n'était pas alors très élevée. L'ancienne législation convenait bien à cette époque où les Canadiens, qui n'avaient ni les outils ni la compétence voulus, désiraient néanmoins connaître le potentiel en gaz et pétrole de cette vaste zone au large des côtes de l'Atlantique. Si le Canada avait refusé d'importer cette technologie, il aurait fallu attendre bien plus longtemps avant de connaître ce potentiel. Les Canadiens ont maintenant acquis une solide expérience en la matière et sont en train de se doter des outils nécessaires. L'existence des ressources pétrolières dans le sous-sol marin est connue, et le temps est venu pour les Canadiens de profiter de l'occasion de participer à l'exploitation de ces ressources. Au large des côtes de l'Atlantique et dans les Terres du Canada, la nouvelle législation stipule que les Canadiens doivent être propriétaires de 50 % des ressources produites. De plus, pour se conformer à la loi, les sociétés doivent soumettre des listes détaillées de leurs besoins en biens et services, afin de permettre aux entreprises canadiennes d'avoir accès à ces marchés.

Les travailleurs canadiens peuvent aussi profiter des possibilités d'emplois dans ce secteur en pleine expansion qu'est l'industrie pétrolière au large des côtes, car la loi oblige aussi les entreprises à identifier en détail leurs besoins en main-d'œuvre.

De la mer à la terre

Aujourd'hui, dans les années 80, le potentiel pétrolier du secteur au large des côtes de l'Atlantique ne relève plus de l'inconnu, comme au début des années 60, lorsque ont été amorcés les travaux d'exploration. Après plusieurs déceptions, les nouvelles sont maintenant encourageantes. Cette industrie n'en est cependant qu'à ses débuts: les recherches pour d'autres champs pétroliers se poursuivent. Et, même à la lumière des récentes découvertes, des questions demeurent; de quelle façon ces ressources seront-elles mises en valeur? Comment le gaz et le pétrole seront-ils acheminés à terre?

Trois grandes étapes s'imposent pour l'exploitation des ressources pétrolières et gazières au large des côtes. Il faut d'abord forer les puits et ensuite installer l'équipement pour amener le gaz et le pétrole à la surface et le purifier. En dernier lieu, il sera nécessaire de mettre en place un réseau de transport pour acheminer le pétrole aux raffineries et le gaz naturel aux consommateurs.

Les techniques les plus modernes et l'équipement le plus robuste seront nécessaires pour la mise en valeur des ressources pétrolières au large des côtes de l'Atlantique. Et ce ne sera pas encore suffisant: il faudra mettre au point de nouveaux équipements et techniques qui tiennent compte des conditions toutes particulières d'exploitation dans ces conditions particulièrement dures.

L'érection de ces installations constituera le plus vaste projet jamais entrepris dans les Maritimes. Les défis qu'auront à relever les concepteurs, les ingénieurs, les administrateurs, les fournisseurs, les fabricants et les chantiers maritimes sont formidables.

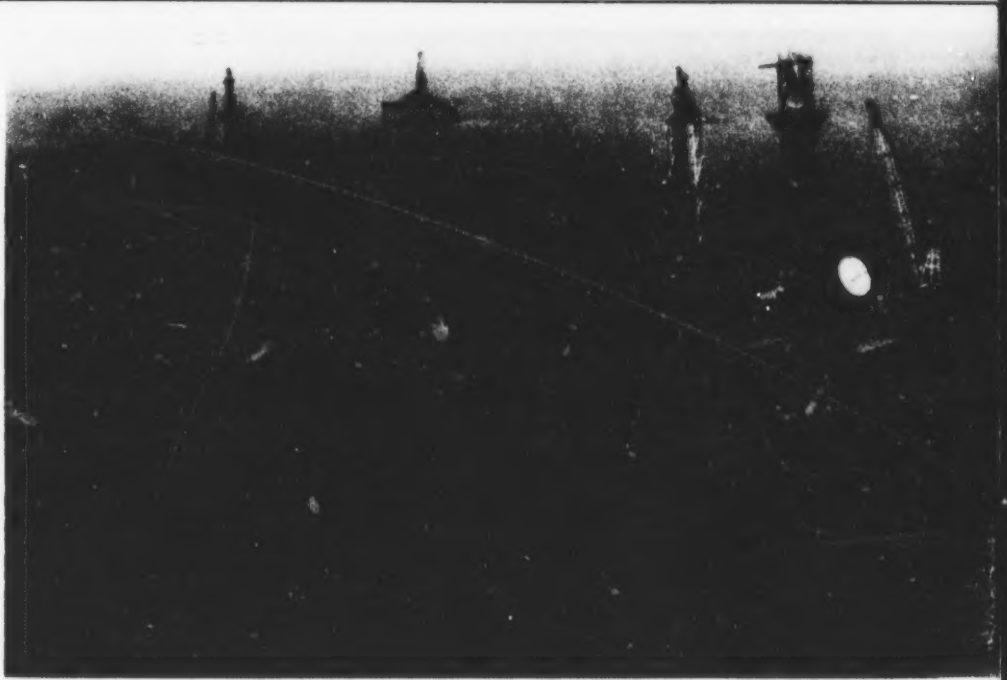
D'autres pays ont déjà réussi à mettre en valeur des champs pétrolifères et gazifères. Si leurs expériences démontrent qu'il existe plusieurs options qui pourraient répondre aux besoins canadiens, il demeure que dans le secteur au large des côtes de l'Atlantique aucun mode de forage, de production ou de transport ne peut même être envisagé s'il ne peut résister à l'éternelle glace.

L'expérience de Frigg

La mise en valeur du vaste champ gazier Frigg, qui chevauche les zones britannique et norvégienne de la mer du Nord, a coûté plus de 3 milliards de dollars. Il a fallu attendre six ans avant que la première quantité de gaz naturel provenant des réserves évaluées à 270 milliards de mètres cubes parvienne à la terre ferme, en 1977. Fonctionnant à pleine capacité, le champ gazier Frigg peut répondre à 5 % des besoins énergétiques du Royaume-Uni.

Dans la mer du Nord, deux modèles de plates-formes sont surtout utilisés. Dans le champ Frigg, on retrouve les deux types, soit deux plates-formes en acier et trois en béton. Les employés du chantier habitent sur l'une des plates-formes en acier. Assemblée sur la terre ferme, cette installation aurait l'apparence d'un hôtel perché sur une immense tour de transmission électrique, aussi haute qu'un immeuble de 33 étages. Le toit de l'hôtel est surmonté d'un héliport et

Dans cette photo, prise de nuit, on aperçoit un navire de ravitaillement et l'une des plates-formes du champ Frigg, sur laquelle logent les membres d'équipage. Les plates-formes du champ Frigg reposent sur le fond marin, à 100 m de profondeur.
(Photo Elf Aquitaine)



Sur cette photo des installations du champ Frigg, on aperçoit la passerelle menant de la plate-forme, où logent les travailleurs (à droite), à la plate-forme de traitement (à gauche), qui repose sur deux piliers en béton. À l'arrière, on peut distinguer les trois piliers qui supportent la deuxième plate-forme où est traité le pétrole. *(Photo Elf Aquitaine)*

d'une antenne de communications. L'une des plates-formes de forage du champ Frigg repose aussi sur une structure en acier. On trouve, en fait, plus d'acier dans l'une de ces charpentes que dans la tour Eiffel.

Plus de 90 % des plates-formes de forage utilisées au large des côtes à travers le monde reposent sur de pareilles structures en acier, que l'on appelle des treillis. Ces treillis sont amarrés à l'aide de pilotis enfoncés dans le fond de la mer.

L'autre type de plate-forme, en béton, a été mis au point spécifiquement pour les travaux dans la mer du Nord. Ces modèles pèsent 20 fois plus que les plates-formes en acier et coûtent trois fois plus mais n'ont pas besoin d'amarres. Puisque leur poids suffit à les maintenir en place, ces modèles sont appelés plates-formes à embase-poids en béton.

Contrairement aux modèles qui reposent sur des charpentes en acier, les plates-formes en béton s'appuient sur un groupe de compartiments cylindriques, de hauteur et grosseur différentes. Certains de ces compartiments en béton reposent sur le fond alors que d'autres s'élèvent au-dessus de la surface de la mer. Ils peuvent être remplis d'air ou d'eau et même servir de réservoirs pour le pétrole.

Une des plates-formes de forage du champ Frigg et les deux servant au traitement du gaz sont construites en béton. Si elle peut avoir l'allure d'une vaste forteresse hérissée de tours, la plate-forme de forage n'est en fait qu'un assemblage de compartiments et de réservoirs cylindriques en béton. Dans le cas des plates-formes servant au traitement du gaz, des structures ressemblant à d'immenses cheminées jaillissent des compartiments submergés pour soutenir, au-dessus de la surface, une structure de plusieurs étages qui abrite le matériel requis.

Partiellement purifié sur les plates-formes de forage, le gaz naturel passe ensuite aux plates-formes de traitement, avant d'être acheminé à la côte de l'Écosse par un gazoduc submergé mesurant 360 km. Enfouies dans le sable et la boue du fond de la mer, ces conduites sous-marines ont aussi été recouvertes de béton afin qu'elles ne soient pas endommagées par les amarres et les filets des chalutiers.

L'expérience de Statfjord

Situé aussi en bordure des eaux territoriales britanniques et norvégiennes, le champ Statfjord est le plus important gisement pétrolier de la mer du Nord. Les réserves, dont 84 %, croit-on, sont en eaux norvégiennes, sont tellement vastes que la Norvège pourrait y puiser tout le pétrole dont elle aura besoin pour un demi-siècle. En plus de 520 millions de mètres cubes de pétrole, le champ Statfjord contiendrait aussi 96 milliards de mètres cubes de gaz naturel.

Deux plates-formes de béton, les plus imposantes structures jamais construites pour l'exploration en mer, sont déjà en place et une troisième est en chantier. La plate-forme *Statfjord A*, construite dans un fjord norvégien, a été remorquée au large et coulée sur le site du gisement, en 1977. La production a commencé deux ans plus tard. La plate-forme *Statfjord B* a été mise en place en 1981. Cette dernière plate-forme, si l'on compte le poids de l'eau utilisée comme ballast dans ses réservoirs, pèse 800 000 t. Au premier abord, les plates-formes de Statfjord, avec leurs hautes tours jaillissant de l'eau pour soutenir les installations, ressemblent à celles du champ Frigg. La différence cependant c'est que les plates-formes utilisées à Statfjord sont des

installations intégrées. Chacune comprend en effet, en plus de tout l'équipement requis pour le forage et le traitement du gaz, les aménagements nécessaires pour loger et nourrir les membres de l'équipage.

La plate-forme *Statfjord A* a coûté 1,5 milliard de dollars. Haute comme un édifice de 60 étages, la plate-forme soutient, sur son pont supérieur, un hôtel de six étages où les 200 membres de l'équipage peuvent manger, dormir, assister à des projections de films ou bien faire du conditionnement physique dans des salles spécialement aménagées. Des normes plus strictes touchant la sécurité et la protection de l'environnement ont contribué à faire grimper à 2 milliards de dollars le coût de la plate-forme *Statfjord B*.

Cette photo a été prise pendant la construction de la série de compartiments qui forment la base de la plate-forme **Statfjord B**. Quatre de ces compartiments, d'une hauteur de 175 m, sont devenus les pieds de la plate-forme. Scellés à partir de 64 m, les autres ont été utilisés pour l'entreposage ou pour contenir le ballast. *(Photo Statoil)*

La plate-forme **Statfjord B** est remorquée de la côte norvégienne. L'équipement pour la production et l'immeuble blanc de sept étages qui abritera l'équipage reposent sur quatre piliers en béton. *(Photo Statoil)*

Le brut est nettoyé de ses impuretés et le pétrole est ensuite emmagasiné dans les caissons qui forment la base de la plate-forme. Des pétroliers viennent périodiquement y faire le plein pour ensuite se diriger vers les raffineries. Le gaz naturel est l'une des impuretés qui est extraite du brut de la mer du Nord. Le gaz, qui serait autrement perdu, est réinjecté dans les réservoirs d'où il pourra être puisé, lorsqu'un gazoduc reliant le champ pétrolier et la terre ferme aura été construit.

L'utilisation du béton pour la construction des plates-formes de Statfjord présentait des avantages marqués pour l'industrie et les travailleurs norvégiens. Si le choix avait porté sur des structures en acier, il aurait été nécessaire de faire appel à une main-d'œuvre hautement spécialisée et aussi d'importer la plupart des matériaux. Même s'il fallait quand même utiliser une certaine quantité d'acier, la construction en béton a permis à la Norvège de puiser sur place la plupart des matériaux et aussi de donner du travail à un plus grand nombre de travailleurs, même non spécialisés. Quelque 350 entreprises ont participé à la construction de la plate-forme *Statfjord A*, qui a créé 21 millions d'heures/personnes de travail.

L'expérience d'Argyll

De toutes les expériences de forage en mer, c'est sans doute celle du champ pétrolier Argyll, dans la mer du Nord, qui retiendra le plus l'attention de ceux qui doivent voir à la mise en valeur des ressources canadiennes. C'est en effet à Argyll qu'une plate-forme flottante a été utilisée pour la première fois, dans la production de pétrole.

Puisqu'elles peuvent être construites et mises en place plus rapidement que les modèles semblables fixes, et aussi parce qu'elles semblent les plus appropriées pour des environnements où la glace représente un danger, les plates-formes flottantes seront sans doute l'une des options envisagées pour les travaux au large des côtes de l'Atlantique.

La décision de recourir à une plate-forme semi-submersible pour extraire le pétrole du gisement Argyll a été prise en 1973. À peine deux ans plus tard, soit en 1975, le premier chargement de pétrole arrivait à la côte par pétrolier. Comparativement aux plates-formes fixes, la mise en œuvre avait été deux fois plus rapide et ce, au tiers du coût.

La production dans le champ Argyll doit cependant être interrompue à plusieurs reprises pendant l'année, à cause des intempéries. Lorsque la mer se déchaîne, les pétroliers peuvent rompre leurs amarres ou il peut arriver que les canalisations reliant le puits à la plate-forme se brisent. Il est donc alors nécessaire d'attendre le retour d'une température plus clémente pour reprendre les travaux.

En 1976, au cours d'une violente tempête, comme il ne s'en voit qu'à tous les 50 ans, trois des 12 énormes chaînes retenant la plate-forme ont cédé. La plate-forme a dérivé de quelque 200 m. Un tel incident démontre à quel point le défi sera de taille lorsqu'il faudra mettre au point la technologie pour les travaux au large des côtes atlantiques.

L'expérience de Garoupa

Dans le champ pétrolifère de Garoupa, au large des côtes brésiliennes, un pétrolier a pu être transformé en plate-forme flottante pour la production de pétrole. Cette installation a été utilisée jusqu'au moment où une plate-forme fixe a pu être construite.

Une canalisation acheminait le pétrole brut de la tête de puits, sur le fond marin, jusqu'au pétrolier, ancré dans des eaux de 150 m de profondeur. Débarrassé de ses gaz dissous et de ses impuretés, le pétrole était ensuite emmagasiné dans les soutes du navire. L'étape suivante consistait alors à transborder le pétrole à un deuxième vaisseau, qui le livrait aux raffineries de la côte.

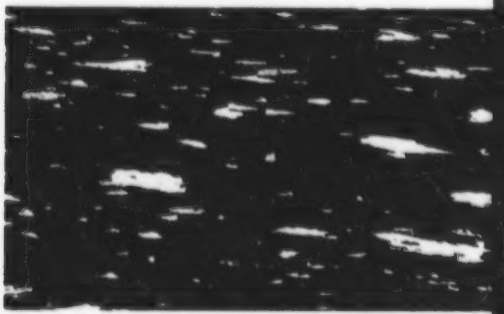
Maintenant que la construction de la plate-forme fixe et d'un oléoduc la reliant à la côte est terminée, Petrobras, la société pétrolière d'État du Brésil, projette d'utiliser ces deux mêmes pétroliers pour mettre en valeur rapidement un nouveau gisement.

La plate-forme flottante qui est utilisée pour la production, dans le champ Argyll, a été remorquée au port pour des travaux d'entretien. *(Photo Hamilton Bros.)*

On aperçoit, en haut, dans le port de Corner Brook, le navire **Grenfell** de la Garde côtière canadienne. Il s'agit d'un ancien vaisseau de ravitaillement qui a été modifié pour servir aux opérations de recherche et de sauvetage. *(Photo Transports Canada)*

Dans la photo du bas, le navire **Wolfe** de la Garde côtière voit à l'entretien des bouées, près de Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard. *(Photo Transports Canada)*

Le vaisseau **Chebucto** du ministère fédéral des Pêches effectue une patrouille près d'un chalutier soviétique, dans le secteur des Grands Bancs. *(Photo Scott Films)*



Dans la photo du haut, on aperçoit le navire **Baffin** de l'Institut de Bedford en train d'effectuer des levés hydrographiques, dans la mer du Labrador. *(Photo Institut de Bedford)*

On aperçoit, dans la photo du bas, le Centre de gestion de la circulation maritime (VTM), à Argentia, Terre-Neuve, d'où est dirigé la circulation dans les eaux achalandées de la baie de Plaisance. *(Photo Transports Canada)*

Bonnes nouvelles ou excellentes nouvelles?

Les richesses sous-marines au large des côtes atlantiques sont-elles suffisamment importantes pour solutionner en partie la crise énergétique mondiale? Dans sa forme la plus simple, la réponse est «non». Il faudrait 15 gisements comparables à celui d'Hibernia pour satisfaire la consommation mondiale de pétrole d'une seule année. On estime d'autre part que le pétrole est utilisé 100 000 fois plus rapidement qu'il ne peut être «fabriqué» dans les entrailles de la Terre. Il est donc inévitable qu'à long terme, tous les pays devront remplacer le pétrole par d'autres formes d'énergie et prendre une série de mesures d'économie d'énergie à grande échelle.

Les découvertes au large des côtes atlantiques demeurent néanmoins de bonnes nouvelles pour les Canadiens. La production pétrolière de l'Ouest canadien est à la baisse et, même s'il existe encore du pétrole et du gaz naturel dans les sables bitumineux et dans le Grand-Nord, il faudra attendre encore plusieurs années avant que ces ressources aient un impact appréciable sur les besoins énergétiques du pays. Ces découvertes au large des côtes de l'Atlantique mettront le Canada sur la voie de l'autosuffisance pétrolière, l'un des grands objectifs du Programme énergétique national. En plus de mettre fin aux dépenses à l'étranger pour l'achat de pétrole, l'autosuffisance placera le Canada à l'abri des interruptions soudaines dans les approvisionnements, provoquées par l'instabilité ou des conflits politiques dans les pays exportateurs.

Les habitants des provinces de l'Atlantique ont plus particulièrement raison de se réjouir. Dans un avenir rapproché, le pétrole provenant des gisements au large des côtes mettra fin à ce joug du pétrole importé, auquel les provinces de l'Atlantique doivent, aujourd'hui, recourir pour une grande part de leur production d'énergie.

Les investissements dans la mise en valeur des ressources pétrolières permettront à la région de l'Atlantique de connaître un essor économique sans précédent. Les occasions, tant pour les entreprises que pour les individus, seront nombreuses.

Il faut certes prévoir que certaines sommes d'argent iront à l'étranger, pour l'achat de biens et de services qui ne sont pas disponibles au Canada, mais les gouvernements, autant fédéral que provinciaux, se sont donné comme objectif d'augmenter la participation canadienne.

L'impact économique des investissements dans le pétrole se fera sentir en deux étapes. Au cours des premières années, soit pendant la période de la construction des installations nécessaires, les matériaux, la main-d'œuvre, le logement et l'entreposage seront en très grande demande. Viendra ensuite la période de la production proprement dite. Pendant les quelque 20 ans de vie d'un gisement pétrolier, les besoins en main-d'œuvre, en biens et en services seront beaucoup moindres mais constants.

Tous ceux qui sont mêlés de près ou de loin à la mise en valeur de ces ressources pétrolières ont donc un défi de taille à relever: ils devront s'assurer que la vie communautaire normale, les habitudes de vie et de travail et l'activité commerciale traditionnelle ne soient pas perturbées, tout en profitant au maximum des possibilités à long terme qu'offre cette énergie qui repose au fond des mers.

Publié en vertu de l'autorisation du
ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources
Gouvernement du Canada

Des exemplaires de la brochure *L'énergie au fond des mers* sont offerts gratuitement par:

Énergie, Mines et Ressources Canada

215, rue Water
7e étage
St. John's (Terre-Neuve)
A1C 6C9

5151, rue George
5e étage
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 1M5

Also available in English

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982
N° de cat. M 27-39/1982 F
ISBN 0-662-72076-0

Energie, Mines et Ressources Canada

Energy, Mines and Resources Canada